

**IAG86-04-2013**  
**INFLUENCIA DEL TIPO DE GEOSINTÉTICO Y DOTACIÓN DE**  
**LIGANTE EN LA PROPAGACIÓN DE GRIETAS DE UN PAVIMENTO**  
**BITUMINOSO**  
**INFLUÊNCIA DO TIPO DE GEOSINTÉTICO E TEOR DE ASFALTO**  
**NA PROPAGAÇÃO DE FENDAS EN MISTURAS BETUMINOSAS**

Miguel Á. Calzada-Pérez  
Universidad de Cantabria. E.T.S. Ingenieros de C., C. y P. Grupo Caminos Santander-GCS-  
Santander, España  
calzadam@unican.es

David Zamora Barraza  
Universidad Católica del Maule.  
Talca, Chile  
dzamora@ucm.cl

Ángel Vega-Zamanillo  
Universidad de Cantabria. E.T.S. Ingenieros de C., C. y P. Grupo Caminos Santander-GCS-  
Santander, España  
vegaa@unican.es

Daniel Castro Fresno  
Universidad de Cantabria. E.T.S. Ingenieros de C., C. y P. Grupo Caminos Santander-GCS-  
Santander, España  
castrod@unican.es

## **Resumen**

En esta ponencia se comparan sistemas que utilizan en la zona de intercapa una geomalla, o un geotextil frente al proceso de propagación de fisuras a través de las capas bituminosas de un firme, determinando la cantidad óptima de ligante y así poder mejorar su durabilidad. Para ello se ha diseñado un ensayo dinámico que simula el paso de las cargas del tráfico sobre el firme. Las solicitaciones se aplican a una probeta tipo bicapa, que simula la estructura del pavimento, siendo la parte inferior la capa a rehabilitar y la superior el nuevo pavimento, intercalando entre ambas un sistema antirremonte. El procedimiento es sensible al tipo de geotextil utilizado y permite en el caso de las geomallas determinar el contenido óptimo de ligante que se debe emplear como riego de adherencia. Todos los sistemas analizados retrasan el avance de las grietas reflejadas, aunque se ha comprobado que las geomallas con mayor módulo de rigidez tienen un mejor comportamiento, siendo su durabilidad del orden de tres a seis veces superior comparado con otros sistemas.

## **Resumo**

Este trabalho compara os sistemas que utilizam uma geogrelha, ou um geotêxtil contra o processo de propagação de trincas através de camadas betuminosas de um pavimento, determinando a quantidade ideal de asfalto e, assim, melhorar a sua durabilidade. Para isso criamos um teste dinâmico, que simula a passagem de cargas de tráfego em um corpo-de-

prova. As cargas são aplicadas a um tipo de amostra em bicamada, que simula a estrutura do pavimento, com a camada inferior ser reabilitado e novo pavimento superior, ensanduichar entre elas um reforço contra propagação de trincas. O procedimento é sensível ao tipo de geotêxtil utilizado e permite, no caso de geogrelhas determinar o teor ótimo de asfalto para ser utilizado como um rega de colagem. Todos os sistemas testados atrasar o progresso das trincas, embora tenha provado mais geogrelhas com um módulo mais elevado demonstrou melhor desempenho, a sua durabilidade e na ordem de três a seis vezes maiores em comparação com outros sistemas.

## INTRODUCCIÓN

La rehabilitación de un firme es necesaria cuando en su superficie aparecen grietas que afectan la comodidad de los conductores o permiten el ingreso de agua a las capas inferiores, lo que acelera el proceso de deterioro. Una de las técnicas habituales para devolverle sus características iniciales es la colocación de una capa de mezcla bituminosa sobre la superficie existente. Sin embargo, al cabo de un tiempo, las grietas del antiguo pavimento; se suelen abrir paso a través de la nueva capa de mezcla, originando un prematuro deterioro de ésta. Si las grietas superficiales coinciden con las de la antigua capa de pavimento, estamos en presencia del fenómeno conocido con el nombre grietas reflejas. Este deterioro es causado por las variaciones en la temperatura de las diferentes capas del firme y por el constante paso de vehículos.

Se han propuesto un gran número de soluciones para detener este proceso, aunque no se ha encontrado todavía una solución que se pueda considerar como definitiva. Una de las técnicas que actualmente se está utilizando se basa en el empleo de geosintéticos (Cleveland 2002). Es preciso indicar que en el mercado actual hay una gran variedad de productos de esta gama, con diferentes diseños y materiales constitutivos (poliéster, fibras de vidrio, polietileno, polipropileno, etc.), siendo su comportamiento muy distinto en función de los elementos indicados.

Aunque existe una normativa exhaustiva referente a las propiedades de los geosintéticos como tal, falta una normativa específica que regule su utilización como elemento antirremonte de fisuras. Esta falta de procedimientos normalizados y especificaciones está retrasando el empleo de estos materiales en los campos anteriores, pero hay un interés generalizado y creciente por su uso tanto, como es lógico, por parte de los fabricantes como por parte de los ingenieros que trabajan en el proyecto y conservación de carreteras.

Mediante ensayos de laboratorio se puede evaluar el comportamiento de los sistemas anti-remonte, simulando las solicitaciones debidas a afectos térmicos y a la acción del tráfico, que son las principales causantes de la reflexión de grietas. Para estos materiales los ensayos de fatiga se pueden clasificar en tres grupos: los que simulan cargas del tráfico, los que simulan efectos térmicos y ensayos que tratan de simular simultáneamente ambas solicitaciones. No obstante casi todos ellos están basados en producir una fisura y estudiar su propagación.

El Instituto de Transporte de Texas (TTI) desarrolló un aparato controlado hidráulicamente para simular las tensiones de tracción y compresión inducidas por los desplazamientos originados en un pavimento como resultado de los cambios de temperatura. Zhou et al. (2004) señalan que se han realizado números estudios con este tipo de ensayo para evaluar la efectividad de los geosintéticos. Sin embargo, continúan señalando que la fabricación de probetas es muy difícil debido a las dimensiones que estas presentan (375 mm de largo, 75

mm de ancho y una altura variable de 25 a 75 mm), por lo que posteriormente se ha realizado una modificación para poder utilizar probetas de menor tamaño.

Ensayo del Laboratorio de Ponts et Chaussées (MEFISTO) simula la rotura por fatiga de las mezclas bituminosas. Consiste en someter a la probeta a una carga sinusoidal con una frecuencia de 10 Hz, aplicada con una o dos “columnas” en el centro de la viga del ensayo, y una carga puntual horizontal. Los estados de carga horizontal y vertical se ensayan por separado. Se emplea para cuantificar la eficiencia de los métodos anti-remonte de fisuras empleados en pavimentos semirrígidos (Tamagny et al. 2004) y permite trabajar a dos temperaturas bajas: -5°C y -10°C.

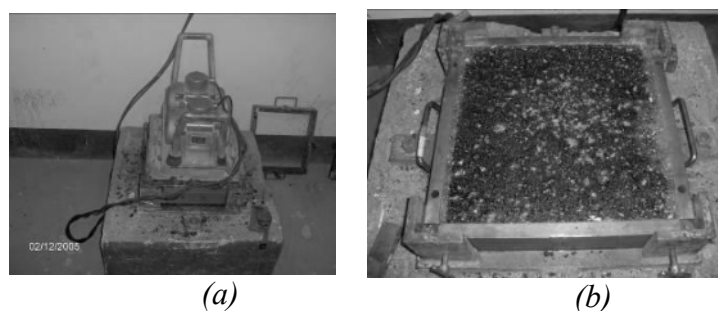
Entre los años 2004 y 2006, el Laboratorio de Carreteras de la Universidad Politécnica de Madrid, desarrolló un nuevo equipo para el estudio de la reflexión de grietas, denominado WRC (Wheel Reflective Cracking) basado en el ensayo de pista. Según señala Prieto, Gallego y Pérez (2007), este equipo aplica un efecto de flexión por el paso de la rueda sobre un material que está sometido a esfuerzos de tracción inducidos por un equipamiento complementario.

A. Khodaii 2009 diseña un ensayo dinámico para estudiar la propagación de una grieta desde una capa inferior a través de 75 mm de una capa asfáltica dispuesta en superficie. En este estudio se analiza el efecto de diferentes geosintéticos en el proceso de propagación de las fisuras, analizando también cuál debe ser la ubicación en profundidad de más adecuada del producto para conseguir su mayor efectividad.

El efecto del tráfico se puede simular mediante la aplicación de cargas rápidas, mientras que para simular efectos térmicos las sollicitaciones aplicadas deben ser mucho más lentas. En nuestro caso, debido a que se contaba con equipos adecuados para aplicar cargas dinámicas, se optó por el primer procedimiento.

## PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN

La fabricación de las probetas ha realizado empleando los equipos existentes habitualmente en los laboratorios de control de firmes de carreteras. El tipo probeta seleccionado es de tipo bicapa, lo que ha permitido probar varios sistemas antirremonte, como son los de tipo SAMI y diferentes tipos de geosintéticos. Cada una de las dos capas está formada por una probeta de pista de 305 mm de lado por 50 mm de alto, intercalando entre ambas un sistema antirremonte de fisuras)

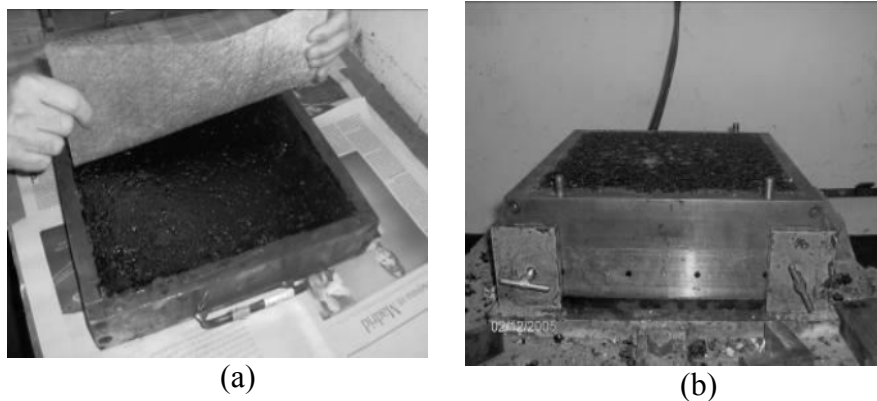


**Figura 1: Proceso de fabricación de la probeta inferior**

Para la fabricación de la probeta inferior se vierte inicialmente la mezcla bituminosa a 155 °C sobre el molde compactándola siguiendo el procedimiento del Wheel Tracking Test (Figura 1a).

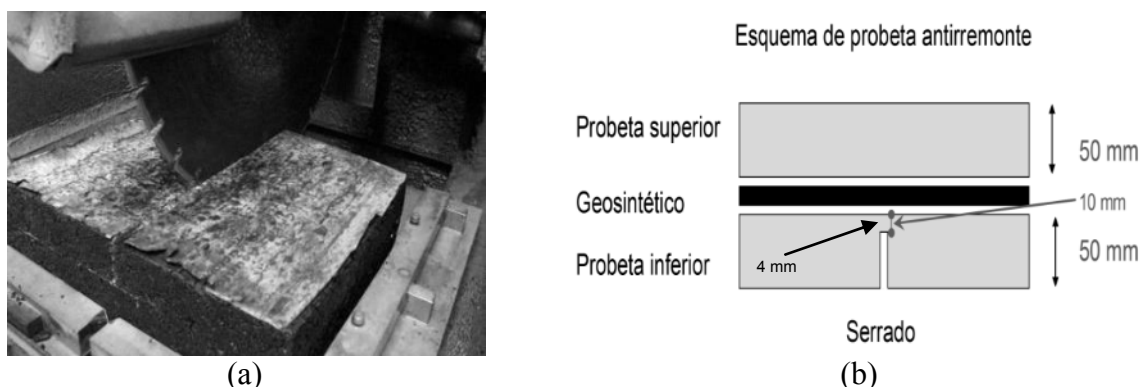
Tras esto se deja enfriar hasta temperatura ambiente (Figura b) y en la zona de interfase, antes de la fabricación de la segunda probeta, se aplica un riego de adherencia, se espera a que ésta rompa, y a continuación se extiende sobre ella un geosintético ([Error! Reference source not found.a](#)).

Después se coloca un segundo molde metálico que encaja perfectamente sobre el primero, y nuevamente se vierte la mezcla bituminosa en caliente sobre el geosintético. Se compacta del mismo modo que la primera probeta y se deja que el conjunto alcance la temperatura ambiente (Figura 2b).



**Figura 2: Colocación del geosintético y vista de la 2ª probeta con su molde**

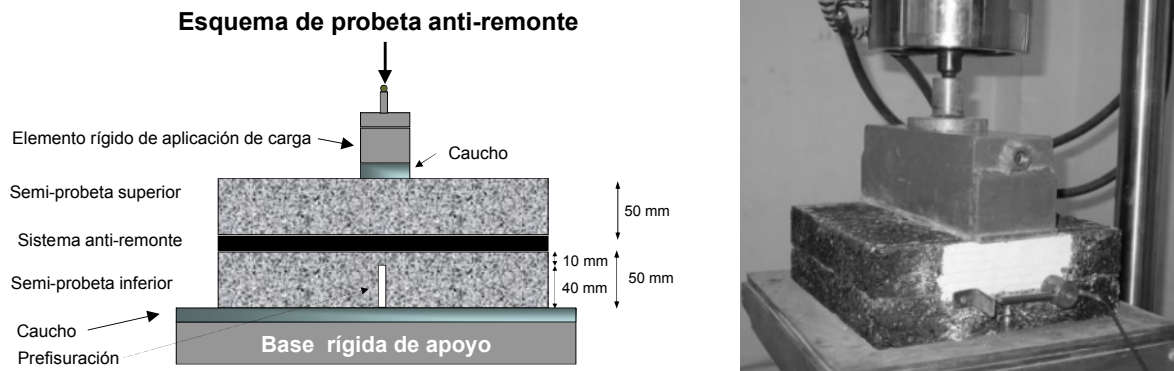
Para simular una posible grieta existente en un firme a rehabilitar, y controlar el lugar por donde debe reflejarse en la superficie, se procedió, mediante serrado (Figura 3a), a realizar en la capa inferior una ranura. La fisura inducida (Figura 3b) tiene una profundidad aproximada a los 40 mm por unos 4 mm de espesor. Esta profundidad se fijó para que ésta estuviera a 10 mm aproximadamente por debajo de la zona de interfase, impidiendo de esta manera que durante el proceso serrado se dañara el sistema antirremonte.



**Figura Error! No text of specified style in document.: Corte de la probeta para facilitar la propagación de las fisuras**

Para aplicar las cargas se diseñó una base de apoyo de acero 400 x 400 x 60 mm que debido a su robustez asegurara prácticamente un sistema de apoyo indeformable. Esta base cuenta con un elemento que permite la sujeción y apoyo sobre la máquina dinámica y la mantiene en una posición horizontal perpendicular al eje de la carga aplicada.

Para poder facilitar la aparición de deformaciones que facilitaran las progresiones de las grietas se dotó a la base de apoyo de caucho. Así mismo para facilitar un apoyo uniforme se dispuso una plancha de goma en la parte inferior del elemento prismático que aplica la carga (Figura 4).



**Figura 4: Aplicación de cargas del ensayo dinámico**

Con respecto al tipo de solicitación, se decidió realizar el ensayo mediante un proceso de control de carga. En todos los casos se aplicó la misma secuencia, consistente en una onda de tipo sinusoidal, manteniendo siempre una presión mínima para lograr un buen apoyo del elemento que transmite la solicitación durante todo el ensayo. La carga máxima se fijó, para lograr que los materiales que más resisten se les pudieran aplicar del orden de 250.000 solicitaciones. Las características empleadas para el ensayo fueron las siguientes. (Tabla 1)

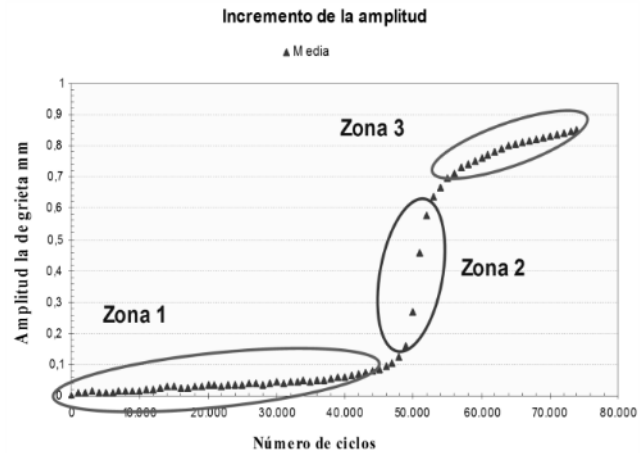
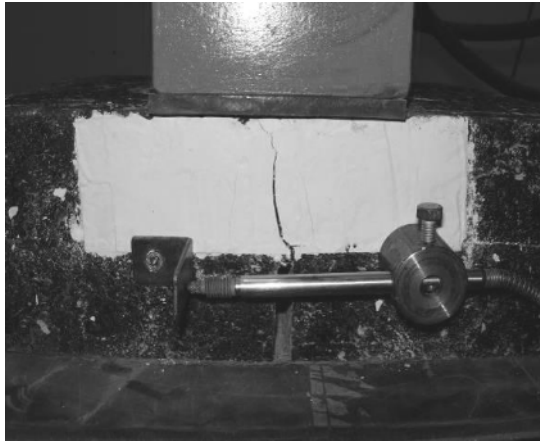
**Tabla 1: Características de la carga aplicada en el ensayo de propagación de fisuras**

Carga Senoidal	Carga (kN)	Presión (MPa)
Máxima	19,0	0,65
Mínima	3,0	0,10
Media	11.0	0,38
Semi-amplitud	8,0	0,27
Frecuencia	10 Hz	

## CRITERIO DE ROTURA

Como criterio de fallo se puede fijar el momento en que la grieta alcanza la parte superior de la probeta: Aunque todos los ensayos se han prolongado hasta que la grieta se ha reflejado claramente en la superficie, este criterio de tipo visual presenta dificultades. Por ello se ha considerado que la probeta estaba rota, en el momento a partir del cual la grieta incrementara su amplitud forma significativa. En **Error! Reference source not found.**, se pueden observar tres zonas claramente diferenciadas, Éstas son similares para todos los tipos de interfase utilizados. Una interpretación adecuada de este gráfico permite conocer cómo evoluciona la fisura.

Se ha considerado que se origina el fallo cuando se supera una amplitud de deformación 0,1 mm, ya que a partir de este valor y en muy pocos ciclos la amplitud de la grieta se incrementa en gran medida. Este comportamiento se ha observado en todos los sistemas antirremonte empleados.



**Figura 5: Apertura y evolución de la amplitud de una grieta inducida**

## SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

El sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- El ligante empleado en el riego.
- La mezcla bituminosa empleada como recubrimiento
- El geosintético.

Para los riegos de adherencia de los geosintéticos se utilizó una emulsión ECR-3 y un betún modificado BM-4 para el sistema SAMI

Para el estudio se empleo una mezcla bituminosa convencional en caliente del tipo AC16 (EN 13108)

Para estudiar la eficacia que tienen las diferentes soluciones, Tabla 2, para retrasar la propagación de las fisuras se han ensayado los siguientes sistemas ,:

- Muestra GM-1: Geomalla de poliéster de alto modulo, recubierta de un producto bituminoso. Además, está provista de una tela no tejida ultraligera fijada sobre uno de los lados, asimismo recubierta con producto bituminoso.
- Muestra GM -2: Geomalla de poliéster con recubrimiento de PVC.
- Muestra GM -3: Geomalla de estructura reticulada de hebras de fibra de vidrio, cubierta de un revestimiento de polímeros y provista de una capa de cola sensible a la presión.
- Muestra GT -1: Geotextil de fibras de polipropileno, no tejido agujado de filamentos continuos estabilizado a los rayos UV.

- Muestra GT-2: Geotextil de fibras de polipropileno, compactadas por punzonamiento y con un acabado térmico.
- Muestra SAMI. Fabricado con un árido calizo de tamaño uniforme entre 10 mm y 8 mm, y un betún modificado

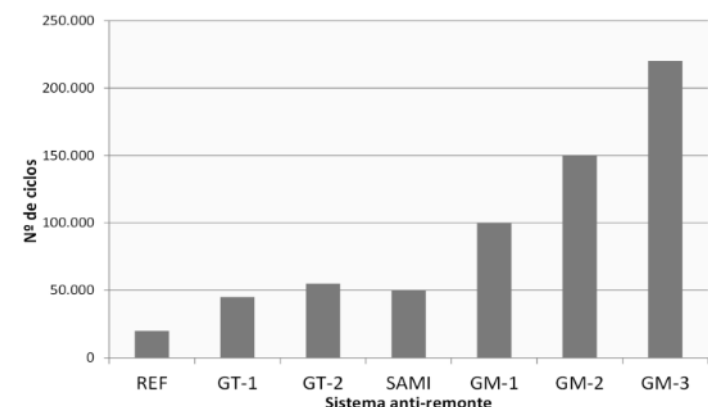
Con el fin de no introducir más variables en esta fase del estudio, se ha utilizado una única dotación de ligante que corresponde a la que recomienda emplear cada productor en su sistema anti-reflexión de grietas.

**Tabla 2: Características de los geosintéticos empleados**

Producto	DENOMINACION	Betún residual (kg/m <sup>2</sup> )
Sin geosintético	REF	0,40
Geomalla	GM-1	0,35
	GM-2	1,10
	GM-3	0,0
Geotextil	GT-1	1,10
	GT-2	1,10
Geocompuesto	GC-1	1.10
SAMI		2,80

Carga y módulo		
Material	F <sub>en 2%</sub>	J <sub>sec 2%</sub>
	kN/m	kN/m
GM-1	6,4	320
GM-2	11,8	592
GM-3	64,2	32092

En la **Error! Reference source not found.** se representa el número de ciclos resistidos hasta la rotura, utilizando como criterio de fallo una amplitud de la grieta de 0,1 mm. El número de probetas elaboradas para cada sistema fue de 3, que se conservaron y ensayaron a una temperatura de 20 °C.



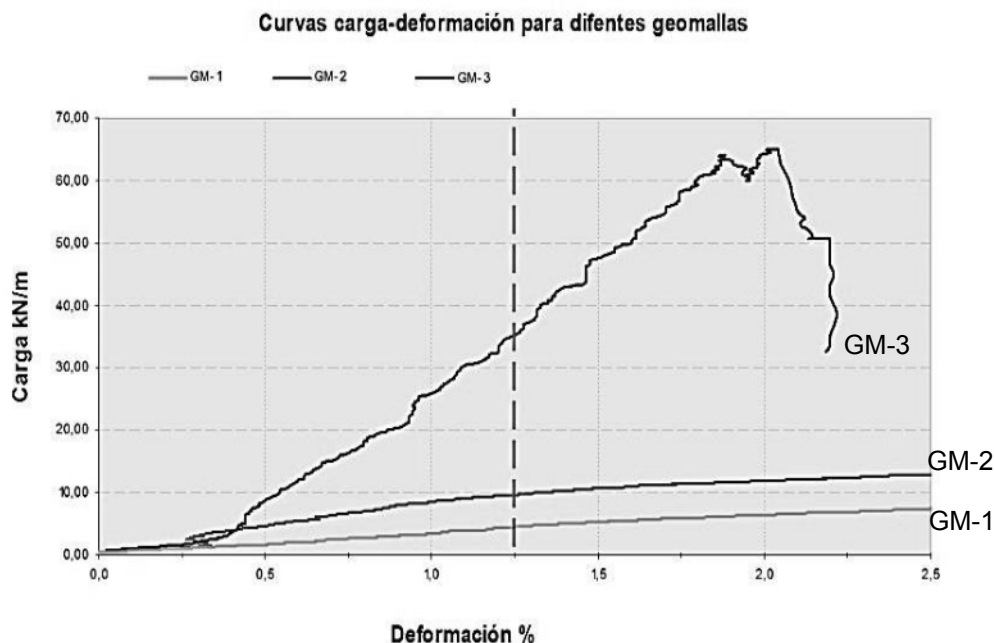
**Figura 6: Comportamiento a fatiga de los diferentes sistemas anti-remonte**

Si se analizan los datos representados en la figura anterior, se puede indicar lo siguiente:

- Que todos los sistemas antirremonte se comportan mejor que el de referencia (sin la inclusión de geosintético).
- El comportamiento del sistema SAMI utilizado, y de los dos geotextiles de polipropileno presentan un comportamiento semejante. La durabilidad es del orden de dos a tres veces superior a la que tiene la probeta de referencia.

- En el caso de los sistemas con geomallas, de las que se han analizado tres productos, el comportamiento es dispar. En primer lugar todos los sistemas proporcionan una mejora importante con respecto a los materiales comentados anteriormente. Con respecto al material de referencia, todos ellos superan en al menos cinco veces el número de ciclos resistidos.
- En último lugar con la geomalla de fibra de vidrio (GM-3), que es con la que se obtiene los mejores resultados, resiste entre una vez y media y dos veces y media los ciclos resistidos por los otros tipos de geomallas.

Los resultados anteriores se pueden explicar, en función del módulo de deformación de la geomalla utilizada (Figura 7). Por ello es importante recordar que la transmisión de las grietas está más relacionada con las deformaciones que se producen en la fibra inferior que con la resistencia final que puede llegar a alcanzar un geosintético. De hecho, durante el ensayo de remonte no se ha roto ninguno geosintético utilizado, pero en todos los casos la grieta ha ascendido hasta la superficie.



**Figura 7: Curvas de carga-deformación de las diferentes geomallas ensayadas**

El reflejo de la grieta en la superficie, al menos para los espesores de mezcla utilizados (5 cm), se produce cuando la deformación unitaria de la fibra inferior es del orden del 1,2%. Este nivel de deformación se encuentra muy alejado de las deformaciones de rotura de los geosintéticos y en particular de las geomallas. Por lo tanto, tiene más interés la pendiente inicial que presentan las curvas del ensayo a tracción de los geosintéticos que los valores máximos de resistencia a rotura que estas pueden alcanzar. Precisamente la geomalla de fibra de vidrio, que es la que tiene el módulo más alto, es la que resiste más ciclos.

## **INFLUENCIA DE LA DOTACIÓN DEL RIEGO DE ADHERENCIA EN LA DURABILIDAD**

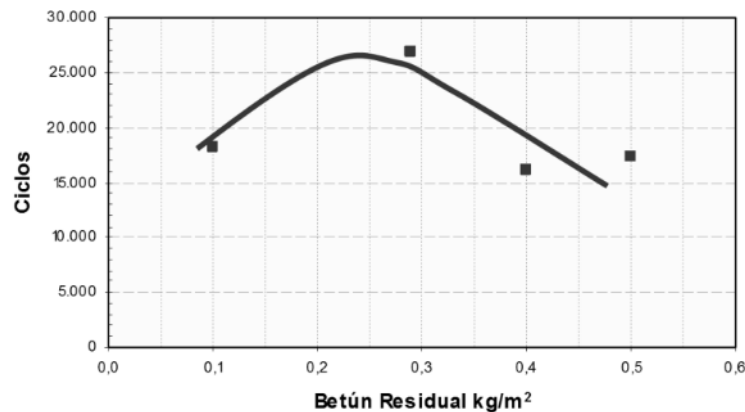
También se ha evaluado cómo influye el contenido de ligante residual en la eficacia del sistema antirremonte de fisuras. El análisis se efectuó solo en tres sistemas:

- Sin geosintético en la zona de interfase (muestra de referencia).



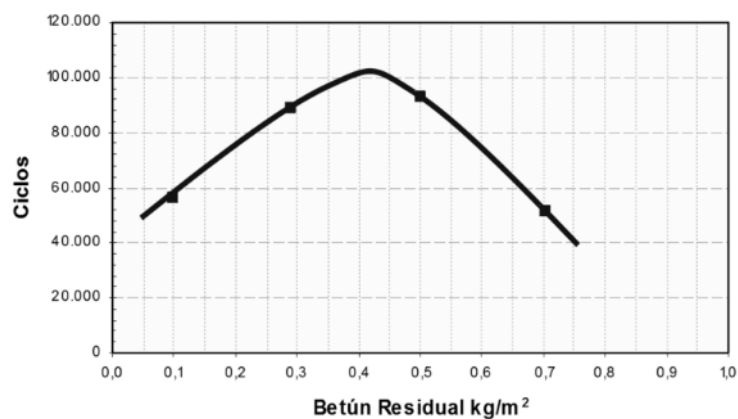
- Con una geomalla de poliéster (muestra GM-1).
- Con un geotextil de polipropileno (muestra GT-1).

En la Figura se representan los resultados relativos a las probetas del material de referencia en el que se puede observar que el ensayo es sensible a la variación del contenido de ligante. El óptimo se encuentra en las proximidades del  $0,3 \text{ kg/m}^2$ , valor cercano al utilizado habitualmente para los riegos de adherencia.



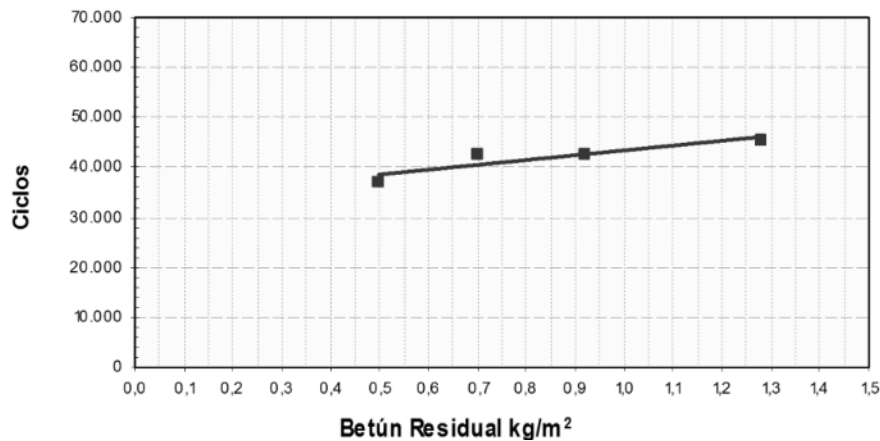
**Figura 8: Influencia del contenido de betún en la durabilidad en la muestra de referencia**

Los resultados de la geomalla de poliéster (GM-1) se encuentran representados en la Figura . También en este caso el ensayo es sensible a la dotación de ligante utilizada para fijar la geomalla. Con respecto al óptimo, éste podría encontrarse en el entorno de  $0,4 \text{ kg/m}^2$  y corresponde a dotaciones ligeramente superiores a las habitualmente utilizadas.



**Figura 9: Influencia del contenido de betún en la durabilidad de la geomalla GM-1**

Los resultados con geotextil de polipropileno (GT-1) se encuentran representados en la **Error! Reference source not found.** En este caso, la influencia del contenido de ligante es muy pequeña, al menos dentro del rango de estudio. Por lo que resulta muy complicado fijar una dotación óptima. No obstante, los mejores resultados se han logrado para una dotación del orden de  $1,2 \text{ kg/m}^2$  que está próximo al recomendado por el fabricante.



**Figura 10: Influencia del contenido de betún en la durabilidad en un geotextil GT-1**

## CONCLUSIONES

El ensayo es sensible al tipo de interfase, a la dotación de ligante.

Todos los sistemas analizados retrasan el avance de la grieta refleja. Aunque los de mejor comportamiento son las geomallas, la durabilidad de estas puede ser de tres a seis veces mayor que la muestra de referencia.

Dentro del grupo de las geomallas las que presentan un mejor comportamiento son las de mayor módulo de rigidez para bajas deformaciones.

Con el procedimiento desarrollado, basado en dos ensayos mecánicos, se puede facilitar la elección del geosintético más adecuado, así como, la dotación de ligante necesaria para su puesta en obra.

## REFERENCIAS

- Cleveland G., Button J., Lytton R. (2002). "Geosynthetics in Flexible and Rigid Pavement Overlay Systems to Reduce Reflection Cracking". Texas Department of Transportation, Austin, Texas.
- Khodaii1 A. (2009) "Effects of Geosynthetic Reinforcement on the Propagation of Reflection Cracking in Asphalt Overlays". International Journal of Civil Engineering. Vol. 7, No. 2, June 2009
- Prieto J.N., Gallego J., Pérez I. (2007). "Application of the Wheel Reflective Cracking Test for Assessing Geosynthetics in Anti-Reflection Pavement Cracking Systems". Geosynthetics International, Vol 14, N°5. pp 287 -297.
- Tamagny P., Wendling L., Piau J.M., (2004). "A new explanation of pavement cracking from top to bottom: the visco-elasticity of asphalt materials". In: Cracking in Pavements, Mitigation, Risk, Assessment and Prevention, Proceedings of the Fifth International RILEM Conference, Limoges, France, pp. 425-432.

Zhou F., Chen D., Scullion T., Williammee R. (2004). "Overlays Tester: A Simple Test to Evaluate the Reflective Cracking Resistance of Asphalt Mixture". 5th International RILEM Conference, pp 597-604.