

COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES FRENTE A CARGAS TERMICAS. DESARROLLO DEL EQUIPO DE AyC

Héctor Luis Delbono¹, Enrique Alberto Fensel¹

¹ LEMaC: Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP - CIC PBA, Facultad Regional La Plata, Av. 60 y 124, C.P.: 1923, Berisso, Buenos Aires, Argentina, delbonoluis@hotmail.com; efensel@frlp.utn.edu.ar

Resumen

Con el desarrollo del equipo AyC (Apertura y Cierre) y su software asociado, se busca mensurar la propagación de las fisuras reflejas en un sistema compuesto en donde se interponen materiales Geosintéticos, utilizados en la rehabilitación de pavimentos, simulando la acción de tracción y contracción que les producen los cambios de temperatura cuando se encuentran en servicio, con un desplazamiento y velocidad estipulada y con medición de carga actuante.

Se confeccionan probetas con y sin materiales geosintéticos de distintas conformaciones, a modo de establecer comparativamente el desempeño de los materiales mediante la mensura en el momento de la aparición y la propagación de las fisuras a la capa superior de rehabilitación.

Actualmente el equipo está desarrollado, logrando aplicar la carga dinámica de apertura y cierre de la fisura y haciendo las primeras experiencias en diferentes mezclas asfálticas, se ajustaron variables en la representación y adquisición de datos del ensayo.

Finalizado el equipo y su respectivo software, se estudia el fenómeno de fisuración refleja producida por la contracción y dilatación que generan los cambios de temperatura de manera de establecer el rendimiento óptimo de los diferentes materiales geosintéticos de acuerdo a su posición en el paquete estructural.

Palabras Clave: Geosintéticos, Rehabilitación de Pavimentos, Carga térmica, Reflejo de fisura, mezcla asfáltica.

1 Introducción

La resistencia a la fisuración es un factor importante en el desempeño de cualquier material, en el caso de una mezcla asfáltica ésta debe resistir a diferentes sollicitaciones mecánicas que le inducen daños por fatiga y deformaciones permanentes principalmente, y las ambientales, ocasionando daños por la humedad y las variaciones de temperatura.

En la restauración de pavimentos, uno de los problemas más comunes a resolver son las fisuras y otros tipos de fallas superficiales, estas fisuras que parecen ser invisibles en etapas tempranas, pero que luego pueden desarrollarse como defectos severos ocasionando grandes costos en términos de tiempo, dinero y trabajo [1].

Las fisuras pueden sólo afectar la apariencia de una estructura, pero también pueden deberse a fallas estructurales significativas. En este sentido el reflejo de fisuras es una de las principales preocupaciones de organismos viales y el de mayor preocupación dentro de la ingeniería de pavimentos actualmente [2].

Este artículo continúa con la línea de investigación que viene desarrollando el LEMaC: Centro de Investigaciones Viales de la UTN FRLP – CIC PBA, sobre la valoración de la propagación de fisuras en la rehabilitación de pavimentos con mezcla asfáltica interponiendo geosintéticos como S.A.M.I (Stress Absorber Membrane Interlayer), el cual se propone valorar la respuesta de estos materiales ante cargas dinámicas simulando la acción de tracción y contracción que les producen los cambios climáticos cuando se encuentran en servicio. Para ello se toma como base un equipo denominado TTI Overlay Tester, desarrollado por Germann P. and Lytton R. L [3] y modificado luego por Zhou, F. and Scullion [4] para valorar la resistencia a la fisuración de mezclas asfálticas, este equipo tiene un movimiento rectilíneo de apertura y cierre, con una velocidad estipulada y medición de la carga actuante que busca simular los movimientos, de dilatación y contracción, que sufre una junta o fisura en los pavimentos ante cambios térmicos. Para ello se confeccionan probetas con y sin la intervención de distintos materiales geosintéticos (geogrillas, geomembranas, geocompuestos, etc.) de diferentes materiales, para establecer el desempeño de los geosintéticos de forma comparativa mediante la adquisición de la carga a tracción que toman los mismos para una deformación establecida y la mensura de la propagación de las fisuras sobre la capa de rehabilitación. Las probetas se confeccionan sobre bases asfálticas y de hormigón pre fisuradas, a las que se les adiciona un riego de adherencia mediante emulsión modificada con polímero, se incorpora el material geosintético y se compacta una capa de recapeo de mezcla asfáltica.

2 Fundamentos

2.1 Fisuración refleja

Se denomina fisuración refleja al fenómeno por el cual se propagan las fisuras pre existentes en capas inferiores o en coincidencia con juntas de un pavimento que ha cumplido un ciclo de su vida útil hacia la nueva capa colocada como refuerzo, y que por efecto de las cargas del tránsito y/o de las solicitaciones ambientales se repite esta patología.

2.2 Mecanismos de fisuración en pavimentos

La fisuración temprana de la nueva capa, colocada como refuerzo, es causada por la incapacidad de resistir los movimientos de la capa subyacente, que puede ser originada por diferentes mecanismos; así, por ejemplo, por las cargas del tránsito que generan deflexiones diferenciales, por expansión o contracción de la antigua capa o hasta por la propia carpeta asfáltica debido a los cambios térmicos [5].

Estos efectos o movimientos originan tensiones de tracción en la fibra inferior o corte en la capa de refuerzo que pueden ser elevadas, tornándose mayores a las admisibles de corte y tracción del concreto asfáltico, causando el surgimiento de la fisura en la capa de refuerzo [6], Figura 1.

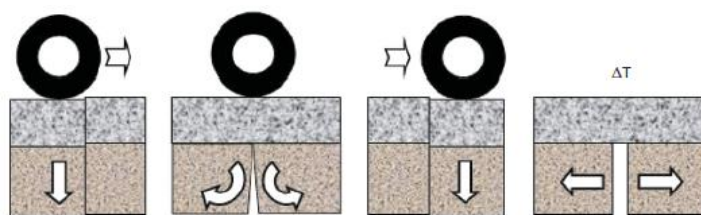


Figura 1. Solicitaciones en la estructura del pavimento
Fuente: [6]

En el presente trabajo nos centraremos en el caso de la fisuración refleja debido a las cargas térmicas que imponen las diferencias de temperatura (ΔT) simulando las mismas a través de esfuerzos de tracción y compresión con el Equipo de AyC de fisuras.

2.3 Material geosintético como sistema anti-reflejo de fisuras

Los materiales geosintéticos vienen utilizándose como refuerzo en los pavimentos asfálticos, proporcionando resistencia a la tracción dentro del mismo, trabajando en colaboración con la mezcla asfáltica, pudiendo llegar a complementar las propiedades de ésta, minimizando la formación y desarrollo de fisuras causadas por la deformación progresiva de la estructura [7]. Sin embargo, se continúan encontrando obras viales donde la falla por fisuración refleja se sigue dando al cabo de un corto lapso, aun cuando estos materiales han sido utilizados.

Los movimientos relativos entre esas capas que conforman un pavimento son un origen importante de fisuras. Cuando la adherencia entre ellas no es satisfactoria, la carpeta de rodamiento suele fisurarse de manera temprana ante las solicitaciones externas. Esta falta de vínculo se traduce también en una mala o nula distribución de tensiones en el espesor total del pavimento.

2.4 Material geosintético en la adherencia entre capas

La introducción de los materiales geosintéticos entre las capas de un pavimento no se realiza con el objeto de mejorar la adherencia entre capas sino de absorber las tensiones generadas por las cargas externas en el extremo de una fisura, la que eventualmente se propaga a través de la nueva capa colocada como refuerzo. No obstante ello, el fenómeno debe ser considerado ya que supone una discontinuidad en la interfase del sistema. Por ello, el material geosintético (GST) tiene cierto efecto o defecto en la mejora de la adherencia al interponerlos entre materiales de distinta naturaleza como ser una capa de Concreto de Cemento Portland (CCP) y la capa de Concreto Asfáltico (CA).

Es por ello que desde el LEMaC se realizaron estudios de adherencia, valorando la interfase de los diferentes materiales a flexión por corte y resistencia a tracción de la unión. [8].

2.5 Propagación de fisura en pavimentos

La formación y propagación de fisuras en los pavimentos ocurre por diferentes solicitaciones (tránsito, clima, fundación, etc.) y mecanismos diversos (dilatación,

contracción, corte, etc.), Figura 2; por lo general, se manifiesta en tres etapas [9]; [10] entre otros:

- Inicio de fisuración
- Crecimiento estable de la fisura.
- Propagación inestable de la fisura

El tiempo que tarda la fisura generada en aparecer en la superficie de la capa de refuerzo asfáltico aumenta con el espesor de la capa. La naturaleza de la capa de refuerzo es importante porque la fisura se propaga más rápido cuanto más frágil sea el material utilizado debido a las tensiones que se producen en la punta de la fisura.

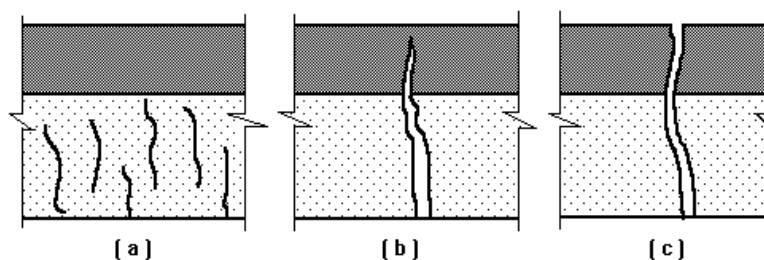


Figura 2. Formación y propagación de fisuras

Las variaciones de temperatura en la capa inferior del refuerzo asfáltico pueden contribuir a la reflexión de fisuras, debido a las tensiones provocadas por:

- Gradiente de temperatura entre la superficie y la base como se indica en la Figura 3 en el punto "A";
- Contracción por enfriamiento, con aumento de la antigua capa asfáltica como se muestra en la misma Figura 3, en el punto "B". Se observa que las tensiones térmicas pueden causar la propagación de la fisura, tanto en la parte superior de la superficie como de la parte inferior de la capa de refuerzo. La contracción y la curvatura de la antigua superficie aplican tensiones cortantes en la parte inferior de la capa de refuerzo y produce concentración de tensiones de tracción en el punto "B".

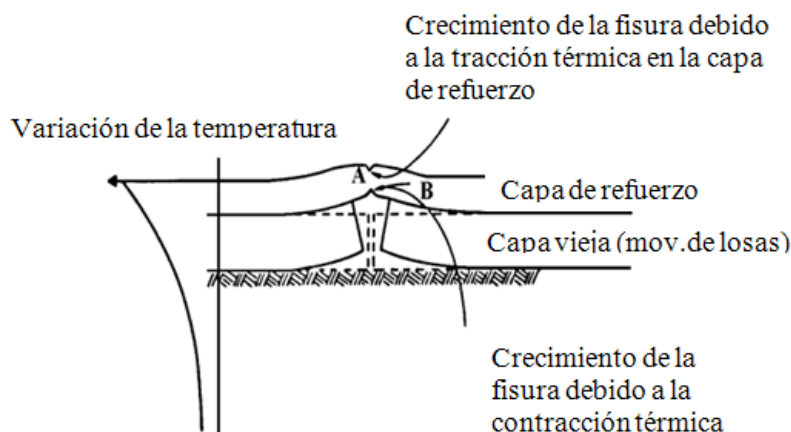


Figura 3. Cambios de temperatura y consecuente fisuración de la capa de refuerzo, Lytton R. 1989 citado por [10]

La variación de temperatura en el pavimento ocurre muy lentamente, en períodos de varias horas. Cada vez que la carga pasa y cada vez que la temperatura decrece en la capa de refuerzo, la longitud de la fisura de reflexión aumenta un poco más. La mejor opción para retardar el crecimiento de la fisura de reflexión puede estar en la selección del material utilizado en la capa de refuerzo, así como el uso de una capa intermedia, de manera de reducir tanto como fuera posible, la concentración de tensiones que las fisuras subyacentes provocan en la capa de refuerzo.

Dado lo expuesto se pretendió abordar con el desarrollo del equipo AyC (Apertura y Cierre) y su software asociado, mensurar la propagación de las fisuras reflejas en un sistema compuesto en donde se interponen materiales geosintéticos, utilizados en la rehabilitación de pavimentos, simulando la acción de tracción y contracción que les producen los cambios de temperatura cuando se encuentran en servicio, con un desplazamiento y velocidad estipulada y con medición de carga actuante.

3. Caracterización de los materiales utilizados

3.1 Materiales geosintéticos seleccionados para la investigación

Los materiales geosintéticos seleccionados para estudiar el mecanismo de propagación de fisura, Figura 4, son caracterizados siguiendo la normativa IRAM, realizando luego ensayos de apertura y cierre de una fisura generada en su plano inferior, de acuerdo con las circunstancias de obra que estos materiales deben afrontar cuando se los coloca entre capas de un pavimento.



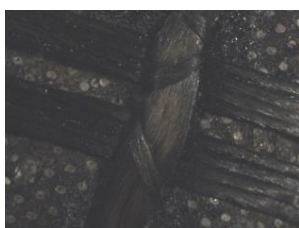
Identificación: FM PP y FM PPA

Geocompuesto conformado por un geotextil tejido en polipropileno adosado sobre una membrana asfáltica. Para el caso del PPA tiene en la parte superior otra membrana asfáltica con arena distribuida.



Identificación: RBK PET

Geocompuesto conformado por fibras en poliéster distribuidas aleatoriamente en la masa de una membrana asfáltica.



Identificación: HSK PET y HSK PVA

Geocompuesto conformado por fibras en poliéster o poli vinil alcohol unidas por puntos a una geotextil no tejido en polipropileno, de malla cuadrada de 40x40 mm con recubrimiento bituminoso.

Figura 4. Estructura de los materiales geosintéticos.

Estos materiales geosintéticos son sometidos a altas temperaturas durante la colocación y compactación de la mezcla asfáltica de refuerzo en caliente, por ello, se realizaron ensayos de resistencia a la tracción por banda ancha (Norma IRAM 78012) en el sentido longitudinal de fabricación para tres temperaturas, buscando evidenciar posibles cambios en sus propiedades en cuanto a si cumple la función de refuerzo en la rehabilitación de pavimentos.

Las probetas fueron sometidas a la colocación y compactación de una mezcla asfáltica a las temperaturas especificadas en la Tabla 1, luego recuperadas para ser ensayadas a tracción.

Tabla 1. Valores de resistencia a la tracción para los geosintéticos sometidos a diferentes temperaturas.

Material	A temperatura de laboratorio (25°C)		Luego de ser sometida a 140°C		Luego de ser sometida a 160°C	
	Carga (KN/m)	Def. (mm)	Carga (KN/m)	Def. (mm)	Carga (KN/m)	Def. (mm)
FM PP	28,04	21,04	31,23	28,42	29,49	28,95
FM PPA	34,93	26,88	-	-	-	-
RBK PET	15,30	50,16	16,40	67,01	14,31	62,77
HSK PET	41,43	17,25	37,76	15,30	36,40	13,87
HSK PVA	39,92	8,24	40,52	9,90	38,96	9,42

3.2 Mezcla asfáltica de refuerzo y de base

La mezcla seleccionada es caracterizada mediante las exigencias dispuestas en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad, Sección 6 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de obra, Tabla 12 de la edición 2017; mediante las especificaciones del 2015 de la Comisión Permanente del Asfalto, Sección 3 Requerimientos constructivos, en su punto 3.1 de criterios de dosificación, Tabla 6. Los resultados se presentan en la Figura 5, mientras que la Figura 6 indica la curva granulométrica de los áridos.

Nº de Lab. =	Material = Mezcla asfáltica			inf. Nº Exped. =
Fecha = 07/11/2019	Hora de inmersión =	1h	24h	inf. Nº Laborat. =
Aro = 3 Tn	Cte. = 8,636	Nº de golpes por cara =		50 75

Este ensayo ha sido efectuado siguiendo los lineamientos de la NORMA VN - E9 - 86

Nº de Probeta	Densidad	Estabilidad	Estabilidad corregida	Fluencia	Relacion Est/Fluen	Vacios
	g/cm ³	lectura	kg.	mm	kg/cm	%
1	2,352	120	1036	2,5	4145	3,3
2	2,363	122	1096	3,1	3535	2,8
3	2,348	127	1097	3,2	3427	3,4
4	2,337	125	1123	2,2	5103	3,9
5	2,345	117	1051	2,2	4776	3,6
6	2,339	118	1019	3,2	3185	3,8

Densidad Rice (g/cm³)= Dr

	Ensayo 1	Ensayo 2
Muestra Nº =	1	2
Densidad K =	1,000	1,000
Peso de frasco + k P1 =	3440	3441
Peso de muestra P2 =	1059	1098
Peso de frasco + k + muestra P3 =	4063	4088
Peso de muestra sumergida P4=P3-P1 =	623	647
Volumen de muestra (P2 - P4)/Dk =	436	451
Densidad max = Dr =	2,429	2,435
Dr Promedio =	2,432	

Densidad Marshall Promedio (g/cm³) = Dm

2,347

Vacios Promedio (%) = Vm

3,5

Vacios agregado mineral (VAM) (%)

15,0

Recuperación de betun / VN - E69 - 78 (%) C.A.

	Ensayo 1	Ensayo 2
Muestra Nº =	1	2
Peso de muestra P1 =	1378	1249
Peso de pétreos P2 =	1309	1189
% de Asfalto = (P1-P2)*100/P1 =	5,0	4,8
% de Asfalto Promedio =	4,9	

Relación Betun / Vacío (%)

76,9

Figura 5. Parámetros de la mezcla

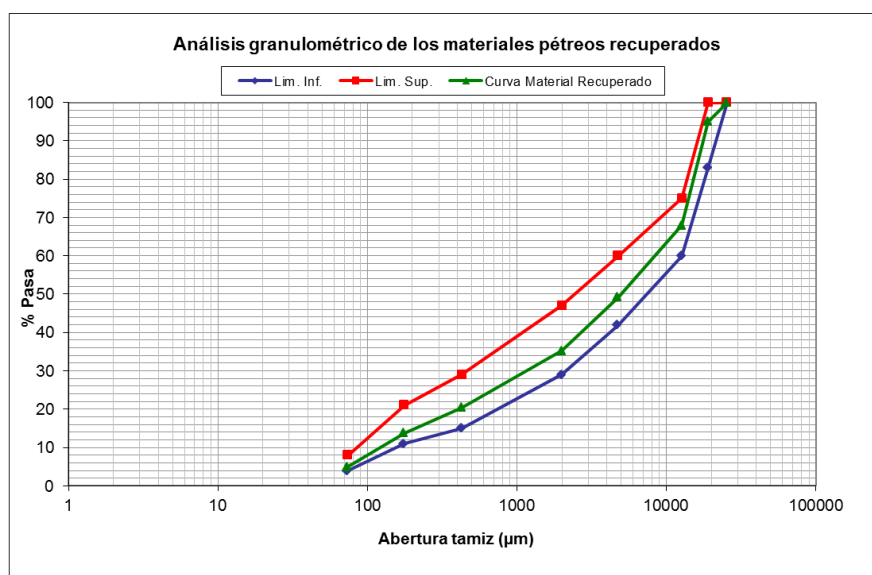


Figura 6. Curva granulométrica de los áridos

La Tabla 2 presenta los resultados de los ensayos Marshall y los límites fijados en el PET DNV-2017, el cual permite caracterizar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica. Así, las probetas confeccionadas se ensayan según la Norma IRAM 6845 [11].

Tabla 2. Resultados y exigencias para un Concreto Asfáltico Convencional CAC D19

Ensayo	Valor	Exigencia
Vacíos (%)	3,5	3 – 5
Relación Betún - Vacíos (%)	77	68 – 78
Estabilidad (kN)	10,7	>10
Vacíos del agregado mineral (%)	15,0	≥14
Relación Estabilidad – Fluencia (kN/mm)	3,5	2,5 – 4,5

3.3 Hormigón de base

El hormigón de base de los sistemas fue dosificado ad-hoc para el trabajo de investigación, el cual respeta la fórmula presentada en la Tabla 3.

Tabla 3. Dosificación del hormigón

Componentes	Peso (kg/m ³)	Densidad (g/cm ³)	Volumen (cm ³)
Agua	163	1,00	0,163
Cemento CPC 40	365	3,06	0,119
A. Grueso 6:12	855	2,67	0,320
Agregado fino	1002	2,65	0,038
Aire			0,015
Superfluidificante	4,9	1,15	0,004
a/c	0,45		1,000
MRm (MPa) =	4,5	Resistencia media a la flexión	
K =	0,75	$f'_{cm} = (MRm / K)^2$	
f'cm (MPa) =	36	Resistencia media a compresión	

Para un mayor control se confeccionan probetas de hormigón cilíndricas de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura las cuales arrojan una resistencia media a compresión a 28 días de 42,4 MPa, constatándose que se alcanzan resistencias típicas de hormigones para pavimentación.

4. Sistemas de probetas de paquetes estructurales adoptados

Se confeccionan series de tres (3) probetas por cada sistema a ser estudiado. Los ensayos se ejecutan a temperatura ambiente de 25 °C. Las dimensiones de la probeta son 300 mm de largo por 100 mm de ancho y 50 mm de espesor de mezcla asfáltica.

Las probetas son confeccionadas de la siguiente manera: dos placas de hormigón de 20 mm de espesor separadas 0,5 cm, cuyo espacio se completa con poliestireno expandido o sellador con el objeto de simular una junta real deteriorada del pavimento de hormigón o una fisura existente que tiende a su propagación en el plano vertical, Figura 7.



Figura 7. Placas de hormigón, sellado de junta

Sobre las losas de hormigón, con la junta intermedia, se ejecuta el riego de liga con emulsión asfáltica modificada con polímero SBS (ECRR-M) de acuerdo a la circunstancia de obra; según los datos de la bibliografía y la recomendación del Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad (bajo el título de tratamiento bituminoso superficial de sellado: Sección D.III), se selecciona una dotación de $0,9 \text{ l/m}^2$ debido a que el estado superficial de las probetas es bastante regular a diferencia de lo que sucede en obra (la dotación puede llegar a ser de $1,5 \text{ l/m}^2$, dependiendo del tipo de emulsión y las condiciones que presente el pavimento).

Una vez curada la emulsión (40 minutos aproximadamente bajo las condiciones de laboratorio) se coloca sobre la película formada el material geosintético, dando una leve compactación (cuidando que no queden arrugas), Figura 8, luego se compacta la mezcla asfáltica convencional en caliente del tipo CAC D19 a $160 \text{ }^\circ\text{C}$.

La adopción de la posición de los materiales geosintéticos ha sido la fibra inferior de la capa de refuerzo, donde se prevé la mayor sollicitación de tracción y donde el material geosintético debe demostrar su efectividad. Esta circunstancia fue estudiado por los autores y publicado.



Figura 8 Ejecución del riego y colocación del material geosintético

El material utilizado como riego asfáltico (ECRR-M) es brindado por YPF realizando los ensayos en tiempos acordes con el fin de evitar el asentamiento de la parte polimérica de la misma. Sobre esta emulsión se realizan los ensayos de caracterización; los parámetros obtenidos se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Caracterización de la emulsión empleada

Ensayo	Unidad	Norma IRAM	Resultado
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C	SSF	6721	33,7
Residuo asfáltico por destilación	g/100g	6719	65,3
Asentamiento	g/100g	6716	1,7
Contenido de agua	g/100g	6719	37,5
Carga de partículas	-	6690	positiva
Residuo sobre tamiz IRAM 850 mm	g/100g	6717	0,06
Ensayos sobre el residuo de destilación			
Penetración del residuo	0,1 mm	6576	70
Ductilidad	cm	6579	>100

En el caso del geosintético compuesto por una membrana polimérica y un geotextil tejido en polipropileno (FM PP), antes de la colocación de la capa asfáltica, se realiza una nueva aplicación de emulsión; y luego del curado en condiciones de laboratorio (30 min aproximadamente) se compacta la mezcla asfáltica convencional tipo CAC D19.

La compactación de la mezcla asfáltica se realiza según la práctica habitual en la confección de probetas de Wheel Tracking Test. El cálculo de la cantidad de mezcla asfáltica a compactar sobre las losas de hormigón y la aplicación de la emulsión se realiza de la siguiente manera:

$$P_{\text{muestra}} = \text{Vol. del molde} \times \text{Densidad Marshall de la mezcla} = 2,347 \text{ g/cm}^3 \times 4500 \text{ cm}^3 = 10562 \text{ g}$$

$$\text{Volumen del molde} = 30 \times 30 \times 5 \text{ cm} = 4500 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densidad Marshall de la mezcla} = 2,347 \text{ g/cm}^3$$

Temperatura de moldeo = 165 °C en baño de aceite

Temperatura de compactación = 160 °C

Para el cálculo de la cantidad de emulsión asfáltica a colocar sobre la base de hormigón es necesario tener en cuenta el porcentaje de residuo.

Cantidad = Dotación según especificación por área de la probeta

$$\text{Dotación sobre el hormigón según especificación técnica} = 0,9 \text{ l/m}^2$$

$$\text{Área de la probeta} = 0,3 \times 0,3 \text{ m} = 0,09 \text{ m}^2$$

$$\text{Residuo de la emulsión} = 65,3\%$$

$$\text{Cantidad considerando el \% de residuo} = 124,0 \text{ g de emulsión ECRR-M}$$

Para realizar el moldeo de la mezcla asfáltica se utiliza el equipo Roller Compact a una temperatura de compactación de 160 °C (Figura 9).



Figura 9. Compactación de los sistemas.

Luego de 24 horas se procede a desmoldar la probeta moldeada de 300x300 mm y 50 mm de espesor y se procede a ejecutar el aserrado de la misma obteniendo tres especímenes iguales de 100x300x50 mm para efectuar el ensayo (Figura 10).



Figura 10: Aserrado de la probeta

5. Descripción del Equipo y ensayo de Apertura y Cierre de fisura

El equipo consiste en un motor eléctrico con reductor de velocidad, el cual mueve una de las placas, quedando la otra fija, registrando la celda de carga adosada al brazo de impulsión la carga necesaria para lograr la apertura de una fisura sobre el cuerpo de prueba, Figura 11.

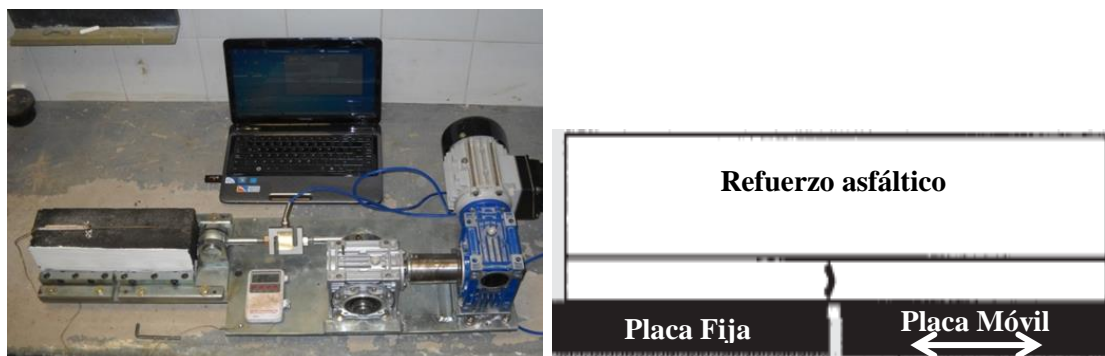


Figura 11. Equipo para cierre y apertura de fisura; esquema de movimiento

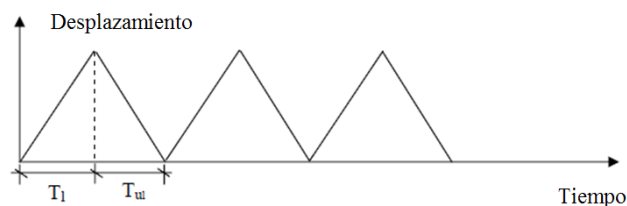
Con el equipo se busca representar las sollicitaciones que se producen ante los cambios de temperatura (dilatación y contracción) y las cargas del tránsito que generan una sollicitación de tracción muy lenta en la fibra inferior de una capa de mezcla asfáltica cuando ésta se utiliza en repavimentación sobre un pavimento de hormigón o concreto asfáltico deteriorado con presencia de fisuras.

Los datos incluyen el tiempo en segundos, desplazamiento en milímetros y carga en kilogramos.

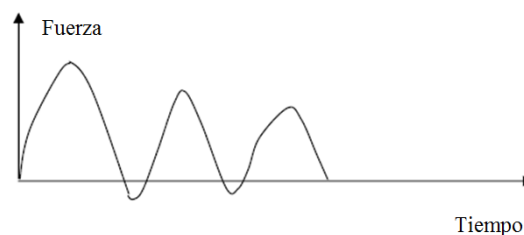
Se realiza el ensayo en un modo de desplazamiento controlado bajo las siguientes condiciones de borde para las primeras experiencias:

- Temperatura de ensayo: 25° C.
- Desplazamiento de apertura para inducir la fisura: 5 mm.
- Tasa de carga: 5 minutos por ciclo (T_1+T_{ul} de la Figura 12).
- Tipo de carga: se aplica de forma de onda cíclica triangular con máximo desplazamiento constante Figura 12.

Cabe aclarar que la apertura de deformación de los 5 mm se tomó inicialmente para evidenciar el trabajo de los materiales geosintéticos cuya deformación para tomar la máxima carga supera los 8 mm, para el material más rígido como el PVA, como se presentara en la Tabla 1. Esta deformación será establecida posteriormente para 2 mm de deformación de manera de representar el comportamiento real de un pavimento de hormigón cuando es sometido a la acción de tracción y contracción que les producen los cambios de temperatura cuando se encuentran en servicio.



Entrada: Desplazamiento vs. Tiempo



Salida: Fuerza vs. Desplazamiento

Figura 12. Entrada/salida de probador de superposición

5.1 Características del equipo y software asociado

El equipo fue desarrollado paralelamente con su software, para adquirir los datos de una forma interpretativa más gráfica del comportamiento. También permite exportar los resultados a una planilla Excel, para poder realizar otros tipos de análisis.

El software fue diseñado para diferentes ensayos, para el caso del ensayo de Apertura y Cierre de fisura permite lo siguiente:

- Permite configurar los dispositivos conectados, celda de carga de 500 Kg o 1000 Kg, según el sistema diseñado de materiales componentes, y los dos LVDTs (traductores de deformaciones) de 25mm y 30 mm conectados al equipo. Estos LVDTs permiten tomar deformaciones horizontales y verticales según el ensayo adoptado. En el caso del ensayo de Apertura y Cierre, se tiene un desplazamiento horizontal impuesto por el brazo de impulsión del equipo que permite regular la apertura de fisura hasta 6 mm como máximo.
- Permite ingresar datos de referencia como: tipo de material que conforma el refuerzo, desplazamiento impuesto (recorrido de la placa móvil), temperatura de ensayo (temperatura ambiente) y descripción de las dimensiones del sistema (probeta).
- Por último, muestra en una interfaz grafica los datos que se van registrando en tiempo real, Figura 13. Para este caso se visualizan dos gráficas, una de fuerza/tiempo y otra de desplazamiento/tiempo.



Figura 13. Pantalla de ensayo con registro de datos

6. Valoración y Resultados

6.1 Base de Hormigón

La probeta con base de hormigón se sujeta al equipo mediante tornillos que presionan las placas de hormigón en ambas caras que le da una gran rigidez a la sujeción. No se utilizó material epoxi debido a que algunos autores evidenciaron que no hay buena repetitividad en los ensayos, recomendando 5 probetas de ensayo y una pérdida de entre el 20% y 25% del valor verdadero obtenido.

Sobre la base de hormigón no se pudo establecer un seguimiento de la propagación de la fisura debido a que los diferentes sistemas fallaron por adherencia en la interfase, Figura 14.



Figura 14. Desplazamiento en la interfase con la placa de hormigón

La Figura 15 muestra las gráficas de la carga que toma cada sistema versus los ciclos de ensayo, para los sistemas con geosintéticos sobre base de hormigón.

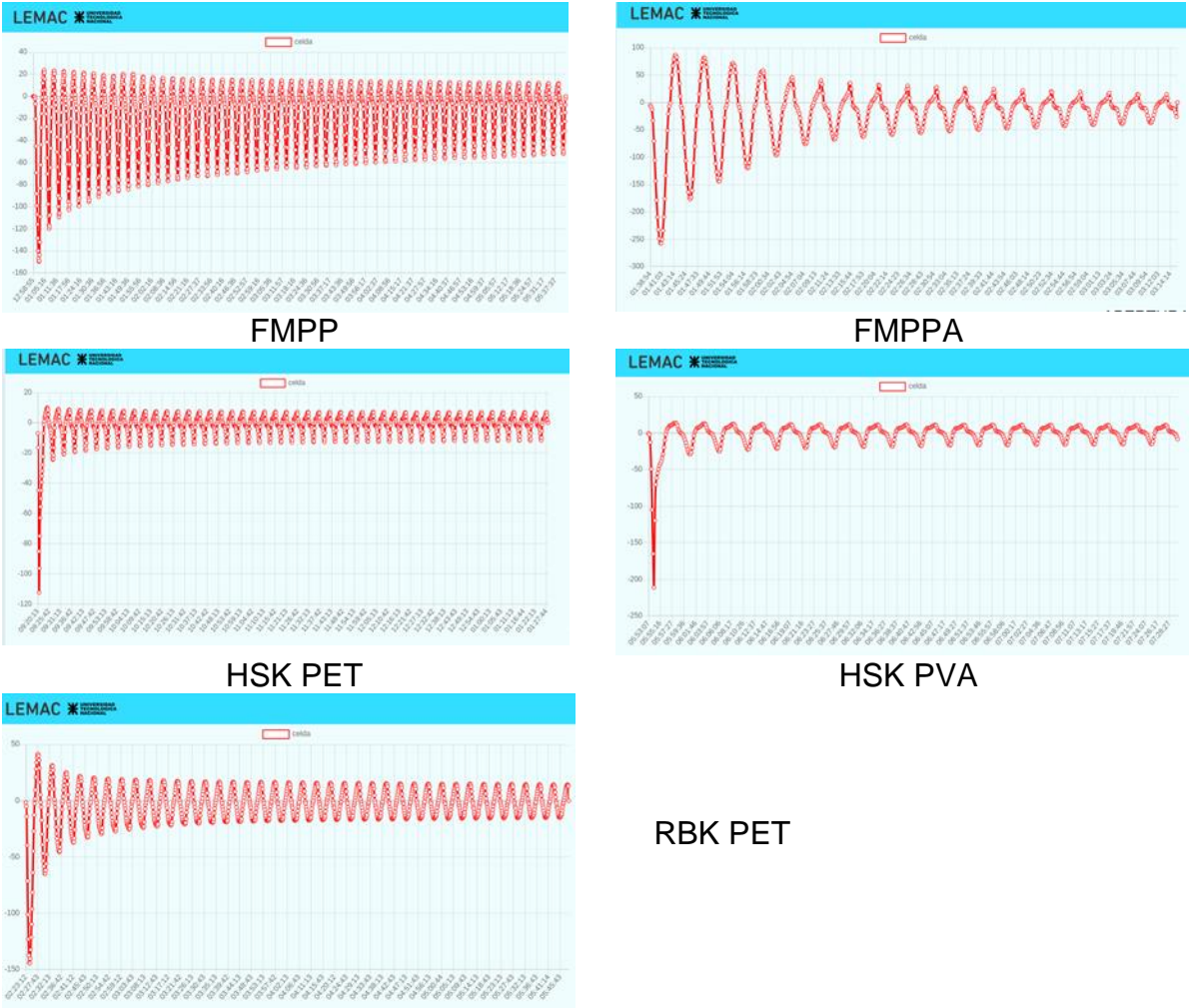


Figura 15. Gráficas de los ensayos realizados con geosintéticos sobre base de hormigón.

En este sistema la fisura se propagó rápidamente debido a la alta deformación horizontal impuesta de 5 mm, lográndose registrar la carga máxima.

Si bien no se pudo determinar el inicio y progreso de la fisura en los sistemas sobre base de hormigón, sí se pudo establecer la carga máxima que cada material geosintético, colocado como refuerzo en el sistema, ofreció hasta que se venciera la resistencia de adherencia entre la capa de hormigón y el material geosintético; los mismos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de carga máxima sobre base de hormigón.

Sistema	Material	Carga máxima (Kg)
Base de hormigón	Referencia-CACD19	35,43
	FMPP	149,72
	FMPPA	257,39
	RBK PET	144,35
	HSK PET	112,27
	HSK PVA	211,12

6.2 Base de Mezcla Asfáltica

Para el caso de base de concreto asfáltico se confeccionaron placas ranuradas (Figura 16) las que les confieren un anclaje a la mezcla asfáltica permitiendo de esta manera que sean ajustadas por los tornillos en ambas caras de la placa de acero y no sobre la mezcla asfáltica.



Figura 16. Placa de base ranuradas

La Figura 17 indica el gráfico de adquisición de la carga.

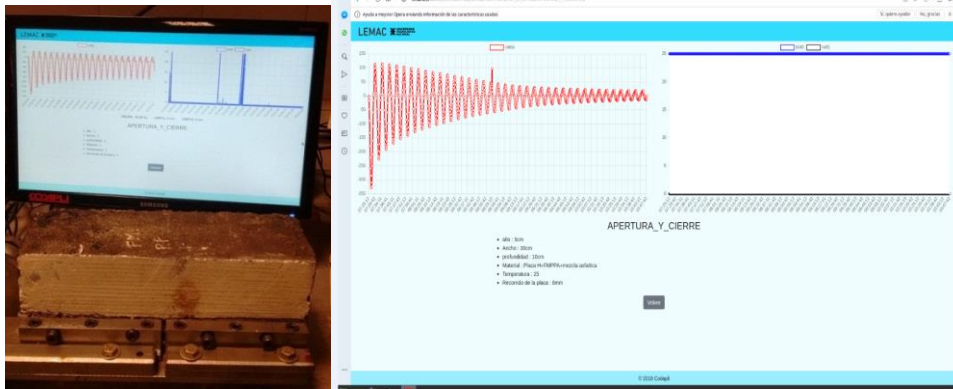


Figura 17. Gráfico de adquisición de datos.

Sin bien para los sistemas conformados sobre una base de concreto de hormigón no se pudo registrar el fenómeno de la propagación de las fisuras, sí se pudo determinar sobre los sistemas con base asfáltica compactadas sobre las nuevas placas ranuradas, logrando monitorear estas fisuras hasta la superficie de rodamiento, Figura 18.



Figura 18. Seguimiento de la propagación de fisura.

Se elaboraron las curvas de propagación de fisuras en función del tiempo, estas se presentan en la Figura 19.

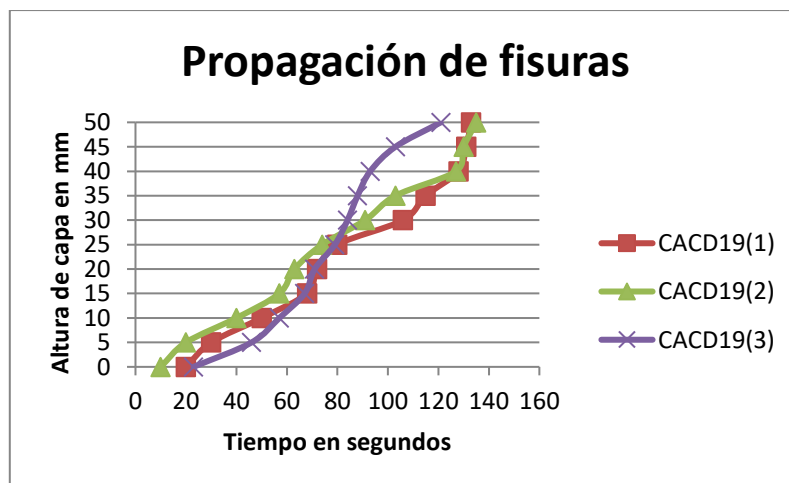


Figura 19. Propagación de fisura para mezcla asfáltica CAC D19.

Para el caso del sistema de referencia con base asfáltica CAC D19, sin interposición del material geosintético, en promedio de tres determinaciones la fisura alcanzó la superficie, los 50 mm, en un tiempo de 131 segundos con una carga máxima registrada por el software de ensayo de 75,18 Kg. La mayor carga registrada de las tres determinaciones fue de 110,58 Kg.

La Figura 20 presenta el seguimiento de los procesos de inicio y propagación de las fisuras hasta que alcanzaron la parte superior del refuerzo asfáltico.

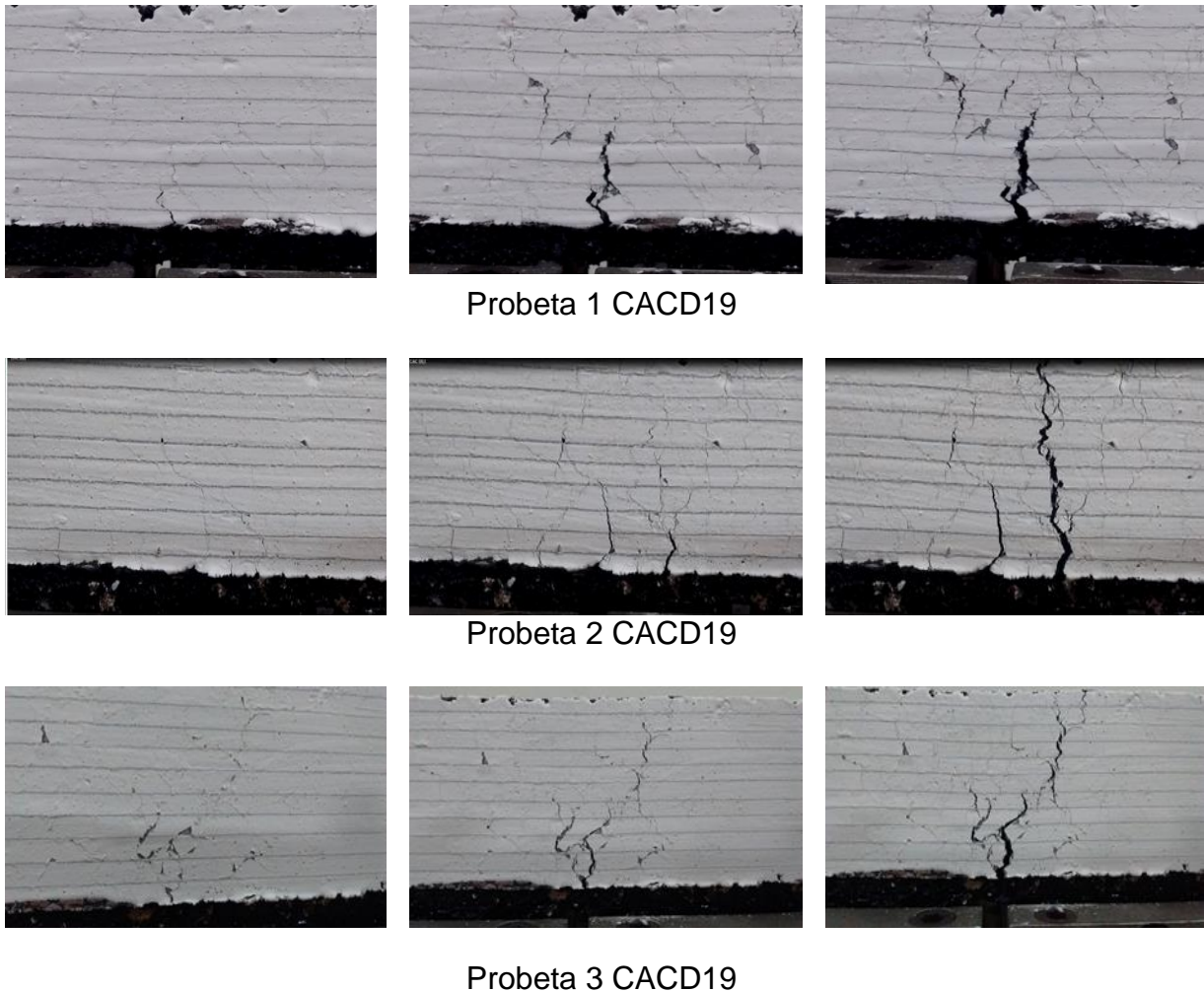


Figura 20. Propagación de fisuras en sistema de referencia con base asfáltica

7. Discusión y conclusiones

El equipo se encuentra en etapa de ajuste de los parámetros de salida, debiendo incorporarse un conteo de la cantidad de ciclos; se tomó una apertura de 5 mm de referencia para magnificar el trabajo de los materiales geosintéticos, siendo excesivo este desplazamiento para el sistema referencial el que no cuenta con Geosintético, pero resulta necesario para establecer las comparaciones.

Podemos decir que, para cualquier método de diseño de pavimentos, se debe observar la importancia de definir adecuadamente los parámetros de entrada (desplazamiento impuesto, temperatura de ensayo), pues su determinación errónea puede dar como resultado estructuras de pavimento susceptibles a degradaciones prematuras o sobre diseñadas frente a la fatiga o el material geosintético a utilizar.

En el mecanismo de crecimiento de la fisura se distinguen dos procesos; el inicio de la fisura para la mayor carga de apertura y la propagación de la fisura que reduce la carga tomada en cada ciclo de apertura y cierre debido a que disminuye la sección resistente (área) de la probeta.

Los ensayos culminaron rápidamente debido a la alta deformación horizontal impuesta de 5 mm. En los próximos ensayos esta sollicitación, a deformación controlada, será establecida con un máximo de apertura de 2 mm.

En el caso de los sistemas con base de hormigón las muestras fallaron en la interfase por falta de adherencia, por lo que no se pudo analizar la propagación de fisura, estableciéndose la carga máxima para vencer esa resistencia al corte de la interfase para los distintos materiales interpuestos como sistemas retardadores de fisuras. Esta situación llevó a diseñar un nuevo mecanismo de sujeción para la probeta que ya se encuentra disponible, quedando a futuro repetir los ensayos con estos sistemas.

Los ensayos se ejecutaron a temperatura ambiente de 25°C, se está avanzando en la adquisición de una cámara térmica para poder ensayar a temperaturas entre 0°C y 60 °C.

En el caso del sistema conformado con una base de concreto asfáltico y el refuerzo del mismo material sin interposición de un geosintético, al que denominamos sistema de referencia, la fisura propagó verticalmente alcanzando la superficie para el primer ciclo de carga. Cada ciclo de carga entre apertura y cierre tiene una duración de aproximadamente 5 minutos.

Se espera a futuro culminar con los ensayos de los sistemas sobre una base de mezcla asfáltica, interponiendo los materiales geosintéticos mencionados en el trabajo, y poder repetir los ensayos que consideran una base de hormigón, de manera de poder relacionar los diferentes sistemas, como así también poder comparar diferentes tipologías de mezclas asfálticas, sin ningún material adicional de refuerzo. Actualmente se pudieron valorar una CACD19 y una CACD12.

Al analizar la fatiga en todo tipo de material, debe considerarse las condiciones de ensayo utilizados para analizar las propiedades de los materiales. Existen muchas publicaciones en este sentido donde se presentan tablas de los resultados para cada problema en particular de investigación bajo ciertas condiciones de borde de los ensayos, carga y temperaturas principalmente, así como las dimensiones, apoyos y sistemas de ajustes como tipo de probeta. Únicamente a través de estudios comparativos el ingeniero podrá obtener un conocimiento real de los mecanismos de trabajo según el sistema que esté estudiando en escala real.

8. Referencias

- [1] Peshkin, D. G.; Hoerner T. E.; Smith K. D.; Bruinsma J. E. and Seeds S. B. "Pavement Preservation: Design and Construction of Quality Preventive Maintenance Treatments". NHI Course 131103, FHWA-NHI-04-171. Reference Manual, National Highway Institute, Federal Highway Administration, Washington, DC, 2004.
- [2] Elseifi, M., and Al-Qadi, I. "Un Modelo Simplificado Anti-Reflejo de Grietas". Documento N° 03-3285 presentado en el Transportation Research Board 82, Washington, D.C, 2003.
- [3] Germann, F. P., and Lytton, R. L. "Methodology for Predicting the Reflection Cracking Life of Asphalt Concrete Overlays". Research Report FHWA/TX-79/09+207-5. College Station, Tex., March 1979.
- [4] Zhou, F. and Scullion, T. "Upgraded Overlay Tester and its application to characterize reflection cracking resistente of asphalt mixtures". Reporte de investigación FHWA/TX-04/0-4467-1, Texas Transportation Institute, Texas A&M University System, College Station, Texas. Estados Unidos. 2003.
- [5] Molenaar A.A.A. "Evaluation of pavement Structure with emphasis on reflective cracking". Second international conference on reflective cracking in pavement, RILEM Liege Belgium, pp. 21-48. 1993.
- [6] Valnestraete A., Francken L. and Bondt H. "Prevention of Reflective Cracking in Pavements. Modelling and structural desing of overlay system". RILEM Report18. Published in 1997 by E & FN Spon, pp. 77-90. 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN. ISBN 0-419-22950-7. 2005.
- [7] Montestruque G. E. "Crack Activity Meter" en la rehabilitación de pavimentos con grillas como sistema anti-reflejo. Conferencia técnica. VX Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Mar Del Plata. Buenos Aires. Argentina. 2009.
- [8] Delbono H. Luis. "Estudio de grillas poliméricas en sistemas anti reflejo de fisuras bajo solicitaciones dinámicas". Tesis Doctoral de la UTN FRLP, 414p. La Plata, Bs. As., Argentina. 2014.
- [9] Tostiscarelli J. y Godoy A. "Uso de geotextiles para prevenir reflexión de fisuras en rehabilitación de pavimentos". 7º Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Trabajo T3-04. Venezuela. 1993.
- [10] Montestruque Vilchez Guillermo E. "Contribuição para a elaboração de método de projeto de restauração de pavimentos asfálticos utilizando geossintéticos em sistemas anti-reflejo de trincas". Tesis Doutoral. São José Dos Campos. Universidade de São Pablo, Brasil. 2002.
- [11] Norma IRAM 6845. Parte 1 á 5. Mezclas asfálticas. Métodos de ensayo para mezclas asfálticas en caliente.