

VALORACIÓN DE LA FISURACIÓN REFLEJA ANTE CARGAS DINÁMICAS INTERPONIENDO GEOSINTÉTICO A DIFERENTES NIVELES DE LA CAPA DE REFUERZO ASFÁLTICO

Autor: Dr. Ing. Héctor Luis Delbono¹.

¹LEMaC: Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Tel/fax: +54 - 0221 - 4890413. Calle 60 y 124, La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: delbonoluis@hotmail.com

INDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. PROPAGACIÓN DE FISURA EN PAVIMENTOS.....	4
<i>II.1 Modo en que puede producirse la fisura.....</i>	<i>6</i>
<i>II.2 Mecanismo de reflexión de fisura.....</i>	<i>7</i>
<i>II.3 Capas intermedias como sistema anti-reflejo de fisuras.....</i>	<i>11</i>
<i>II.4 Fisuración refleja.....</i>	<i>14</i>
<i>II.5 Material geosintético como sistema anti-reflejo de fisuras.....</i>	<i>15</i>
III. MATERIALES; DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	18
<i>III.1 Mezcla asfáltica.....</i>	<i>18</i>
<i>III.1.1 Caracterización de la mezcla asfáltica.....</i>	<i>19</i>
<i>III.2 Emulsión asfáltica.....</i>	<i>25</i>
<i>III.3 Material geosintético.....</i>	<i>26</i>
<i>III.3.1 Función del geosintético.....</i>	<i>27</i>
<i>III.3.2 Experiencia con geosintéticos.....</i>	<i>27</i>
<i>III.3.3 Confección de probetas.....</i>	<i>31</i>
<i>III.3.4 Ensayo de Módulo de Rigidez.....</i>	<i>34</i>
<i>III.3.4.1 Procedimiento de ensayo.....</i>	<i>35</i>
IV. RESULTADOS.....	36
<i>IV.1 Adherencia mediante ensayo de corte LCB.....</i>	<i>41</i>
V. CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES.....	45
VI. REFERENCIAS.....	48

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico y social de un país, sin duda, está estrechamente relacionado con un buen sistema de transporte. Keane señala que las inversiones en redes de caminos tienen impacto directo a nivel macro y micro económico en la productividad de una región [1].

Otros autores Tamanes [2] e Ibarrola [3] destacan que la inversión en construcción y mantenimiento de caminos es una herramienta de crecimiento económico. Un peso invertido en tiempo y forma en mantenimiento preventivo, redundara en varios pesos ahorrados en reconstrucción técnica y económicamente muy dificultosa.

Indudablemente el mantenimiento o conservación de los pavimentos garantiza la inversión inicial de la construcción, disminuye el costo de explotación y alarga la vida tanto del camino como de los vehículos que lo utilizan [4]. Más que una solución de economía, es una solución de alta técnica de ingeniería y por lo tanto los trabajos deben efectuarse oportunamente ya que de ello depende que los gastos que se realicen sean mínimos.

Uno de los problemas más comunes en la restauración de los pavimentos son las fisuras u otros tipos de fallas en la superficie, las que parecen ser invisibles en etapas tempranas, pero que pueden desarrollarse en defectos severos ocasionando grandes costos en términos de tiempo, dinero y trabajo [5].

Las fisuras pueden solo 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 [6].

La solución tradicional al problema de las fisuras en los pavimentos, sean de hormigón o asfálticos, era aplicar una capa de refuerzo asfáltico de cierto espesor hasta que; con la crisis del petróleo en 1970, ha sido necesario buscar otras alternativas, dando origen así a la aparición de los materiales geosintéticos (materiales producidos por polímeros sintéticos o naturales), los cuales se incorporan al paquete estructural con la intención de colaborar con los esfuerzos externos, entre otras funciones [7]. Fue así que estos materiales surgieron y crecieron en el campo de la ingeniería vial.

II. PROPAGACIÓN DE FISURA EN PAVIMENTOS

La formación y propagación de fisuras en los pavimentos ocurre por diferentes sollicitaciones (tránsito, clima, fundación, etc.) y mecanismos diversos (dilatación, contracción, corte, etc.), Figura 1; por lo general, se manifiesta en tres etapas [8]; [9], entre otros:

- Inicio de fisuración (por fatiga del material o en correspondencia con una junta).
- Crecimiento estable de la fisura.
- Propagación inestable de la fisura (aparición en la superficie).

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.

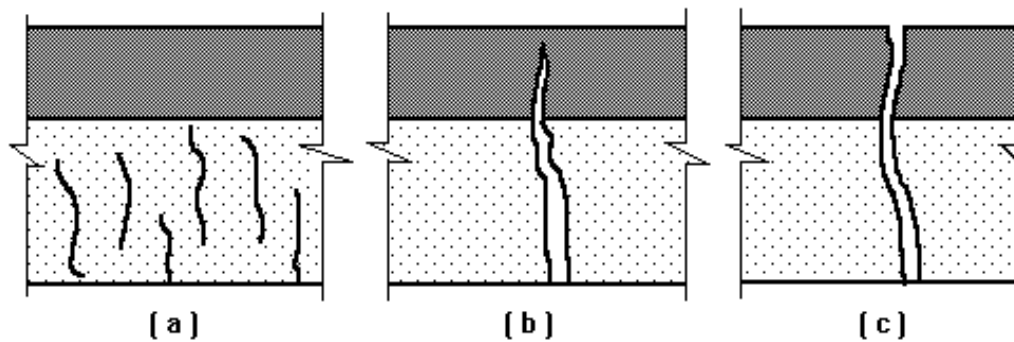


Figura 1. Formación y propagación de fisuras

Goacolou H. y Marchand J. (1982) propusieron un mecanismo para explicar el progreso de la fisura refleja en la estructura de un pavimento [10], Figura 2. Este mecanismo puede ser dividido en:

- Fisuración de la capa asfáltica de refuerzo sobre la capa existente ya fisurada, produciéndose una fisuración horizontal hasta que haya un re direccionamiento vertical de la fisura.
- Propagación de la fisura vertical desde el inicio por el hecho de ocurrir una concentración de tensiones en la región de la extremidad de la fisura, provocando la abertura de una nueva fisura por fatiga en la capa de refuerzo.

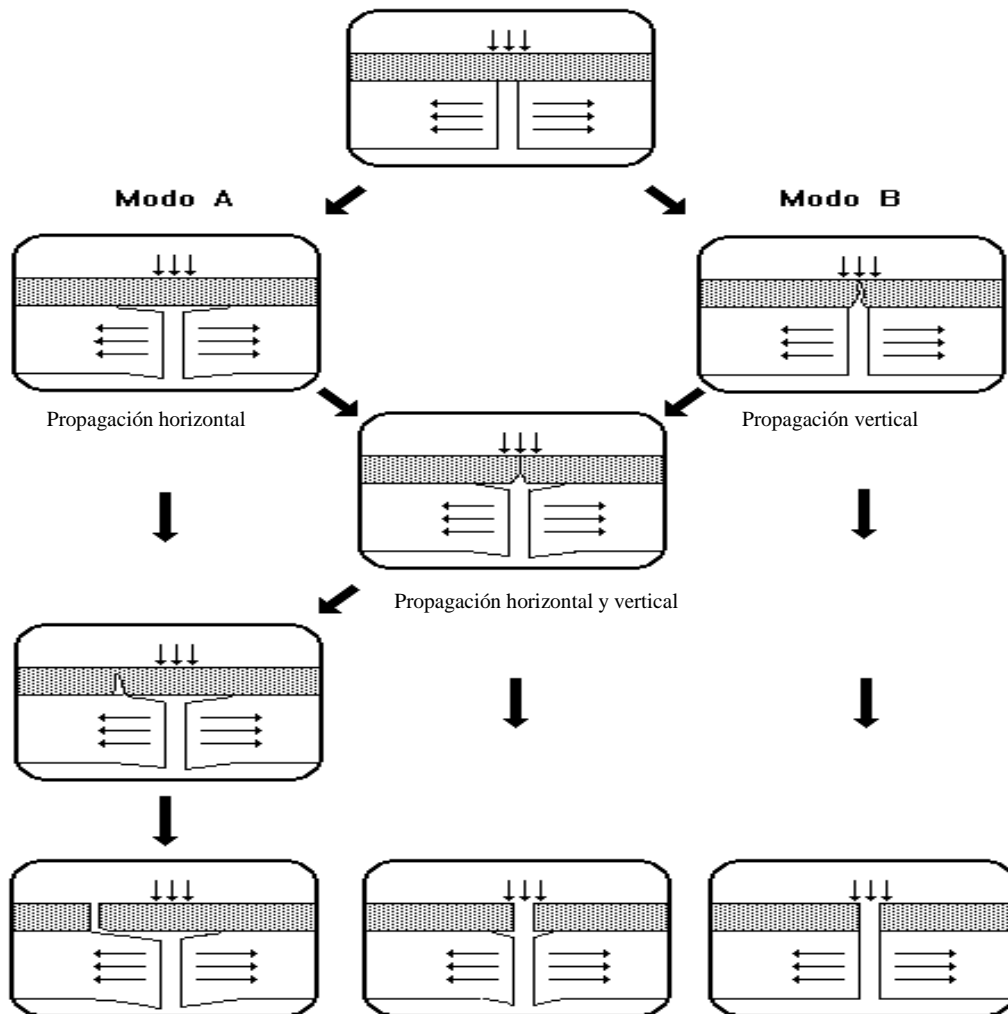


Figura 2. Mecanismo de propagación de fisura

Fuente [10]

II.1 Modo en que puede producirse la fisura

Dependiendo de la dirección en que actúa el esfuerzo exterior, del plano y el frente de la fisura se definen tres modos de rotura, Figura 3. [11]; [9]; [12]:

- Modo I o de tracción, en el que el esfuerzo es perpendicular al plano de la fisura.

- Modo II o de cortante, en el que el esfuerzo es paralelo al plano de la fisura y perpendicular a su frente.
- Modo III o de torsión, en el que el esfuerzo es paralelo al plano de la fisura y paralelo a su frente.

La Figura 3 muestra un esquema de los tres modos indicados. El más usual es el modo I y el modo II; éstos son los elegidos metodológicamente como referencia en el desarrollo de la presente investigación.

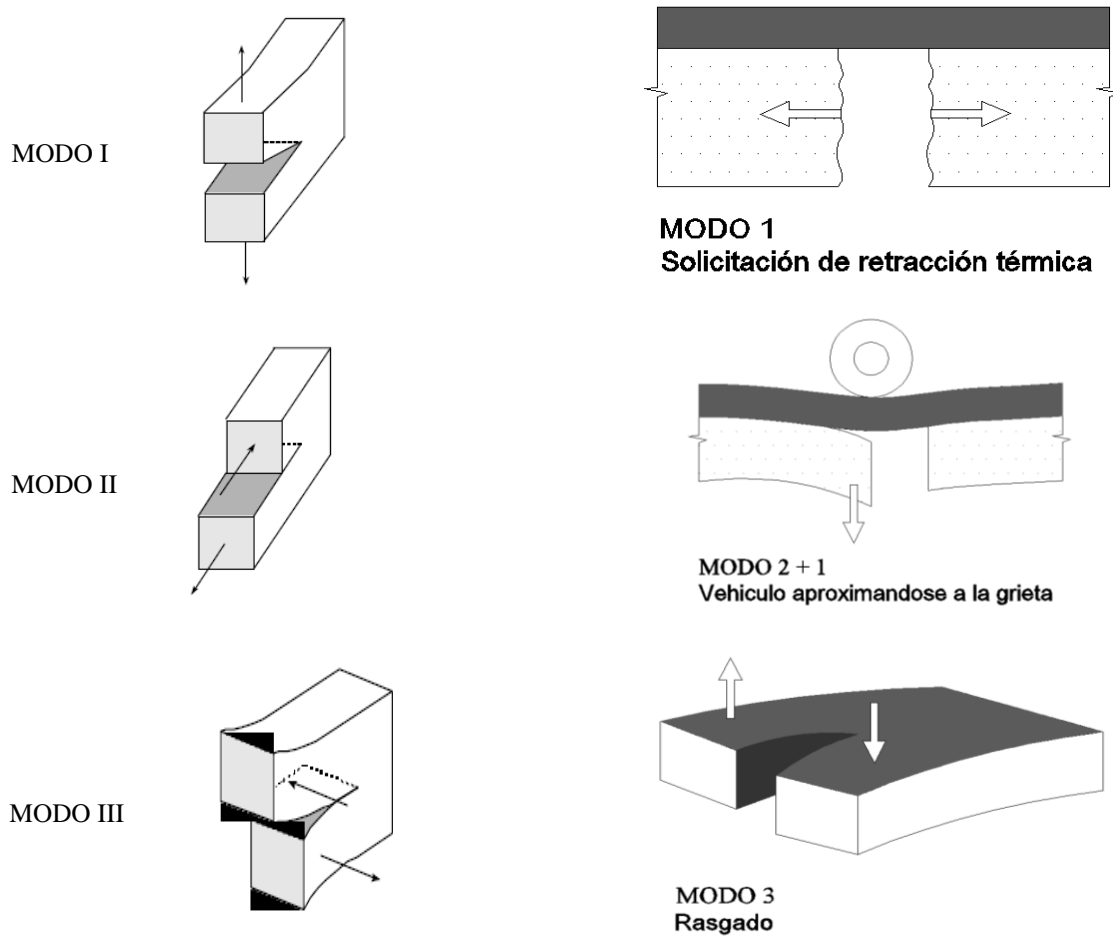


Figura 3. Modos en que se produce la fisura

II.2 Mecanismo de reflexión de fisura

Los autores Nunn [13] y Montestruque [9] señalan tres mecanismos que desencadenan la reflexión de fisuras, Figura 4: fatiga debido a la acción térmica (expansión y contracción), fatiga debido a la contracción térmica (variación del gradiente térmico en todo el pavimento) y fatiga causada por acción del tránsito.

Sin embargo, Bondt [14] afirma que existen otros mecanismos como la consolidación y/o contracción del suelo y los defectos de construcción.

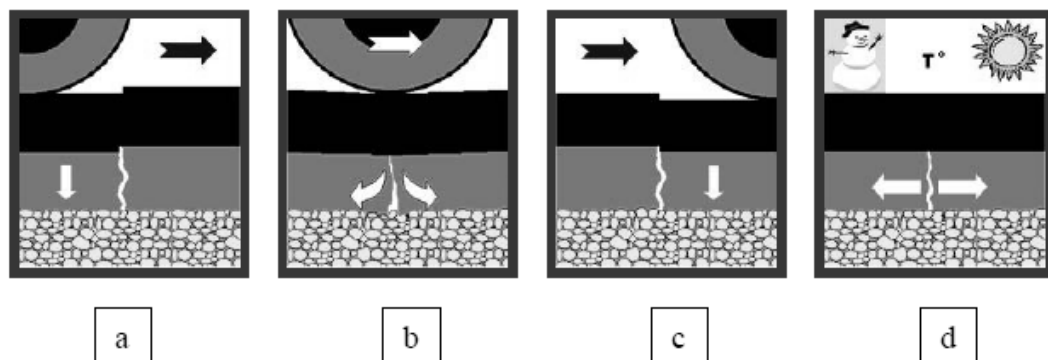


Figura 4. Solicitaciones en las fisuras de un pavimento a) y c) fatiga por sollicitación cortante; b) fatiga por sollicitación de flexión; d) sollicitación debido a carga térmica

En resumen, las posibles causas que favorecen la aparición y propagación de fisuras en un pavimento pueden ser:

- Fatiga: pasadas repetidas de carga de tránsito pesado, causando la rotura de la capa después de determinados números de ciclos.
- Contracción: el uso de capas estabilizadas con ligantes hidráulicos (cemento, cal u otros materiales) y la presencia de temperaturas muy bajas provocan contracción en las capas del pavimento, ocasionando la aparición de fisuras.
- Movimiento del suelo de fundación: el desarrollo de movimientos horizontales perpendiculares a la fisura o junta son importantes. Se

debe contemplar también que los movimientos verticales y especialmente los diferenciales entre los bordes de la fisura contribuyen al fenómeno.

- Defectos de construcción: son causados por la mala característica de los materiales de las capas del pavimento, por la mala ejecución de las juntas longitudinales o por el desplazamiento de las capas que deberían permanecer unidas para que su desempeño sea satisfactorio.

Cuando las cargas del tránsito pasan repetidas veces sobre la fisura del pavimento antiguo, tres pulsos de alta concentración de tensiones ocurren en la extremidad de la fisura [9], la cual progresa a través de la capa de refuerzo, como se indica en la Figura 5 y se describe seguidamente:

- El primer pulso de tensiones es la máxima tensión cortante, indicado en el punto "A".
- El segundo pulso de tensiones es debido al momento flector máximo, que ocurre en el punto "B".
- El tercer pulso de tensiones es nuevamente la máxima tensión cortante, pero esta vez en la dirección opuesta a la anterior tensión cortante (punto "A") que resulta mayor con la posición de la carga en el punto "C", donde se forma un vacío por debajo del pavimento antiguo por efecto de bombeo de finos a la superficie.

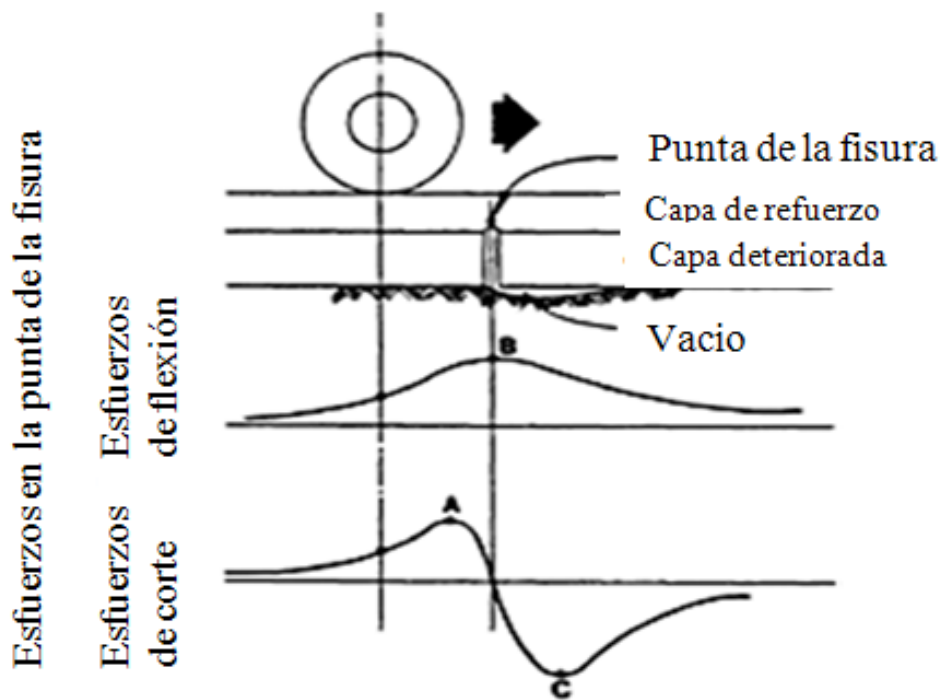


Figura 5. Tensiones en la extremidad de la fisura con el paso de una carga de rueda, Lytton R. 1989 citado por [9]

Estos tres pulsos de tensiones ocurren en un corto lapso (del orden de 0,05 segundos). Las variaciones de temperatura en la capa de refuerzo pueden contribuir también 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 6 en el punto "A";
- Contracción por enfriamiento, con aumento de la antigua capa asfáltica como se muestra en la misma Figura 6, en el punto "B". Se observa que 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".

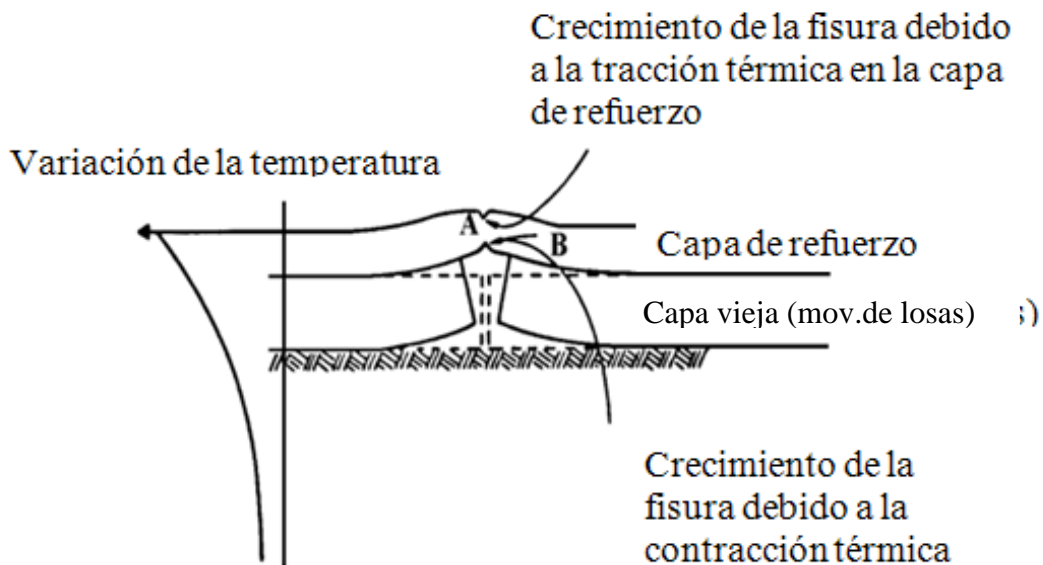


Figura 6. Cambios de temperatura y consecuente fisuración de la capa de refuerzo, Lytton R. 1989 citado por [9]

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 de las propiedades del material utilizado en la capa de refuerzo, así como el uso de una capa intermedia, de manera de reducir tanto cuanto fuera posible, la concentración de tensiones que las fisuras subyacentes provocan en la capa de refuerzo.

II.3 Capas intermedias como sistema anti-reflejo de fisuras

Una capa que actúe como elemento atenuador de fisuración refleja debe ser flexible y deformable ante sollicitaciones lentas por efecto térmico, ser rígida para soportar las sollicitaciones rápidas del tránsito, poseer buena adherencia con la capa de apoyo, experimentar reducidas deformaciones para no afectar

por fatiga a la capa que sustenta, ser resistente a las deformaciones permanentes y mantener la impermeabilidad [15].

Los diversos sistemas anti-reflejo de fisuras pueden ser dosificados en función de la naturaleza de la capa intermedia [16], la cual influye en el control del mecanismo de propagación:

- Capa de absorción de tensiones: construida de materiales de alta ductilidad.
- Capa de absorción de movimientos: construida de material granular o mezclas asfálticas abiertas; son recomendables cuando las deflexiones diferenciales entre paredes de la fisura o juntas son elevadas (> 2mm).
- Capa de alivio de fisuras: es aquella que atrasa el surgimiento de la fisura por absorber parte de la energía de deformación y re-direccionar la formación y progresión de una separación localizada entre la capa intermedia y el pavimento subyacente.

De acuerdo entonces al tipo de capa intermedia utilizada, pueden producirse diferentes comportamientos en la propagación de fisuras, Figura 7, Figura 8 y Figura 9.

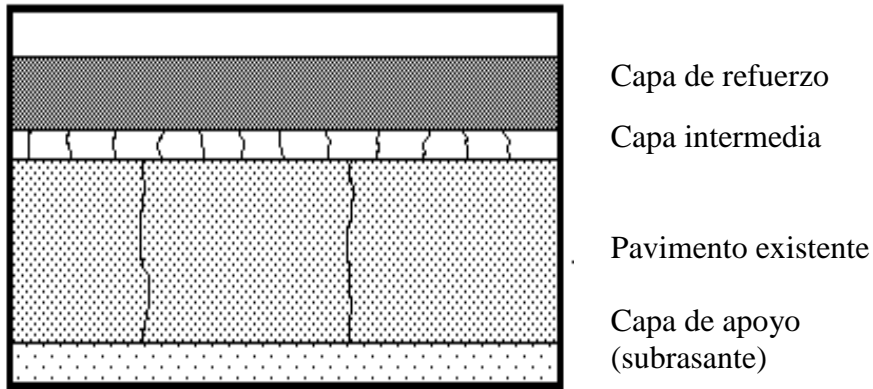


Figura 7. Reflexión en innumerables microfisuras

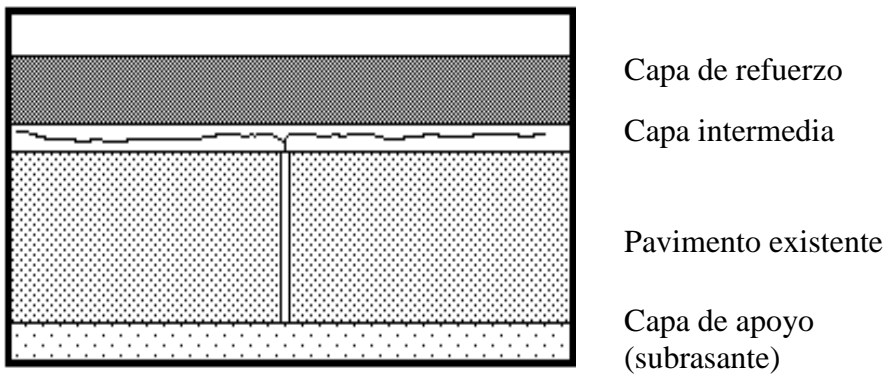


Figura 8. Re direccionamiento de la fisura

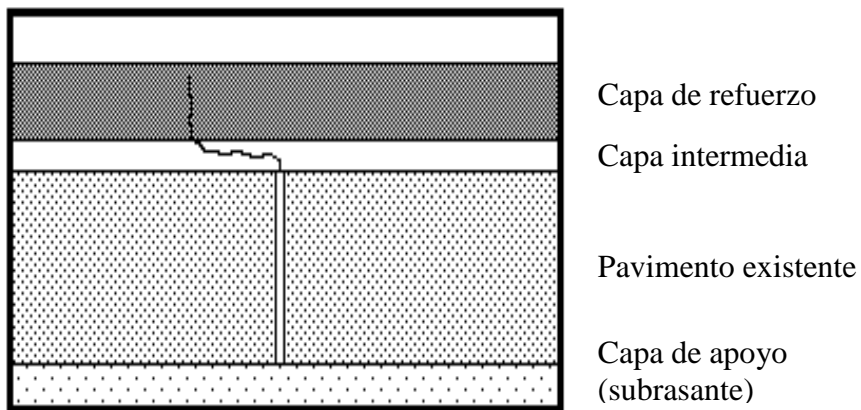


Figura 9. Re direccionamiento de la fisura y atraso de la reflexión

No es justificable el uso de sistemas intermedios de bajo espesor en los casos donde se evidencien: fisuras con movimientos relativos excesivos de bordes; fisuras con gran variación de abertura por ciclos térmicos o fisuras por fatiga generalizada del pavimento.

Se debe aclarar que la interposición de un sistema intermedio entre capas de un pavimento no se traduce en un refuerzo estructural ya que no cuenta con la capacidad de absorber esfuerzos normales como movimientos entre losas y asentamientos de la subrasante.

Las experiencias indican que existen beneficios pero debe quedar en claro que la resistencia a la propagación de la fisura envuelve todos los componentes del pavimento: capa de refuerzo; capa intermedia, si existiera, estructura del pavimento antiguo y suelo de subrasante. Cada uno de estos componentes debe ser tratado en la búsqueda de la eficiencia del sistema global.

II.4 Fisuración refleja

Se denomina como fisuración refleja al fenómeno por el cual se propagan las fisuras pre existentes en capas inferiores o en coincidencia con movimiento de juntas de un pavimento envejecido, hacia la nueva capa colocada como refuerzo, por efecto del tránsito y/o de las sollicitaciones medioambientales calcando la patología de las mismas. [9]; [17]; [18]; [19]; [20]. Este fenómeno es uno de los problemas más serios de deterioro de pavimentos en todo el mundo, mereciendo el asunto especial cuidado en los diseños de mantenimiento como de obras nuevas.

La reflexión de una fisura a la capa superior esta ligada al hecho que, bajo el efecto de sollicitaciones diversas, los bordes de la fisura existente se mueven

creando concentración de tensiones y transfieren ese movimiento a la capa superior; por fatiga de la capa de refuerzo asfáltico se inicia una fisura que crece rápidamente en dirección a la superficie [21].

La problemática planteada puede encontrarse, además de los autores citados anteriormente, en los trabajos de [22]; [23]; [24] ; [25].

II.5 Material geosintético como sistema anti-reflejo de fisuras

En las últimas décadas, numerosas investigaciones vienen siendo desarrolladas sobre el fenómeno de reflejo de fisuras pudiendo ser controlado o retardado por medio de procesos conocidos internacionalmente como S.A.M. (Stress Absorber Membrane) que consiste en una capa especial que queda como capa de rodadura, o S.A.M.I. (Stress Absorber Membrane Interlayer) [26], que consiste en la interposición de una capa intermedia de características especiales, entre el pavimento antiguo y la nueva capa de refuerzo.

En la terminología anglosajona se conoce como S.A.M.I. a los sistemas de interposición de pequeño espesor, utilizadas para disminuir la tensión producida por la existencia de fisuras en las capas inferiores y los movimientos que ocasionan [27].

En tal sentido, los geotextiles, las geogrillas y geocompuestos, materiales comprendidos dentro de los llamados geosintéticos, vienen teniendo buena respuesta en cuanto al retardo de la fisuración refleja, dependiendo de la magnitud del problema ya que pueden y deben tomarse como válidas otras alternativas a saber:

- Sellado de las fisuras;
- Reciclado de las capas fisuradas;
- Trituración de la capa deteriorada (trituración de losas);
- Capa de nivelación de arena-asfalto a lo largo de toda la superficie;
- Mezclas modificadas con polímeros, con alta resistencia a la fatiga;
- Sistema S.A.M. (“Stress Absorber Membrane”), modificación del betón con caucho utilizadas en sellos de “Spray” (“seal coats”) generando una membrana impermeable;
- Sistemas S.A.M.I. (“Stress Absorber Membrane Interlayer”), membrana absorbente de tensiones entre capas que consiste en la construcción de una capa intermedia, de características especiales, entre el pavimento existente y la nueva capa de refuerzo.

La capacidad de cualquiera de los sistemas mencionados, colocado entre capas para reducir los esfuerzos de tensión, se incrementa a medida que el grosor aumenta al igual que su contenido de ligante, mejorándose la flexibilidad [28]. Sin embargo, tener un sistema de absorción de esfuerzo entre capas, espesa, rica y altamente flexible, puede causar ahuellamiento y problemas de deformación bajo tránsito pesado.

Actualmente es difícil establecer cuál es, en mayor o menor medida, la eficacia de los diferentes sistemas. Sin duda, ello es debido a la casuística de la fisuración que es muy compleja, en función de su origen y evolución, así como de las condiciones externas de tránsito, las condiciones medioambientales y de los materiales componentes de los pavimentos.

Las investigaciones de los geosintéticos en cuanto a su interposición entre capas de un pavimento, aseveran que puede reducirse el espesor de las capas del paquete estructural. Sin embargo, esa reducción suele ser algo arbitraria ya que depende de varios factores como ser: tipo de material que

compone la capa (suelo, hormigón, mezcla asfáltica), distribución granulométrica de los agregados que conforman las capas, características de la mezcla asfáltica utilizada en refuerzos, condiciones climáticas y tipo de cargas del tránsito.

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 [9]. Sin embargo, se continúan encontrando obras viales donde la falla por fisuración refleja se sigue dando al cabo de un corto lapso, aún cuando estos materiales han sido utilizados [29].

Los niveles de deformación del pavimento son relativamente bajos en condiciones de servicio, [30], por ello los materiales deben trabajar efectivamente en bajas deformaciones.

Los fabricantes de geosintéticos comúnmente publican el control de calidad de sus productos, a pesar de que no siempre describen características específicas aplicables al diseño. Por lo tanto, es necesario tener conocimiento de las características de fuerza-alargamiento de cada material cuando se lo emplea como sistema anti-reflejo.

Desde el Centro de Investigaciones Viales (LEMaC) se vienen realizando trabajos que involucran la problemática del reflejo de fisuras en los pavimentos, sean asfálticos u de hormigón, a través de proyectos de investigación homologados y mediante convenios con empresas del sector productivo, en la aplicación en obra y su seguimiento.

Uno de esos trabajos es el que se presenta, en donde se seleccionó uno de los materiales geosintéticos que se comercializan en Argentina con el objeto de trabajar ante el fenómeno de la fisuración refleja, variando la posición del material geosintético dentro de la nueva capa que se coloca como refuerzo.

Buscando responder a la problemática de la propagación de fisuras, con y sin la interposición del material geosintético, se implementó el equipo de sollicitación dinámica por carga cíclica denominado Módulo de Rigidez (MR) para observar el fenómeno de la propagación de fisura, desde el inicio de la misma hasta su surgimiento en la superficie. Este equipo fue implementado y acondicionado en el Centro de Investigaciones Viales (LEMaC) de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata.

A continuación se brinda una descripción de los materiales utilizados para confeccionar las probetas de ensayo que representan el comportamiento de un pavimento sometido a carga dinámica.

III. MATERIALES; DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se confeccionan en laboratorio probetas por cada sistema a ser ensayado, los materiales que conforman la probeta se describen a continuación:

III.1 Mezcla asfáltica

En la determinación del tipo de mezcla asfáltica a utilizar se tienen en cuenta factores como frecuencia de su uso en repavimentación, materiales de fácil obtención y que cumplan con las especificaciones técnicas de un pavimento de alto tránsito.

Considerando estos factores, la mezcla asfáltica seleccionada, como carpeta de refuerzo, es un concreto asfáltico convencional denso Tipo CAC D20 elaborado en caliente. La misma se diseña previamente en laboratorio para lograr probetas patrones de análisis y obtener los parámetros necesarios para el plan de moldeo.

Una vez obtenidos los resultados del diseño de la mezcla asfáltica, la procedencia de la misma corresponde de una empresa comercial de la región la cual elabora sus mezclas mediante una planta asfáltica fija por pesadas, que provee al Municipio de la Ciudad de La Plata para la realización de carpetas de calles urbanas. Esto permite la toma de muestras diariamente para llevar a cabo el conjunto de todos los ensayos requeridos para su caracterización. Se realiza un control estadístico de la mezcla de manera de considerarla como constante para todo el trabajo.

III.1.1 Caracterización de la mezcla asfáltica

La mezcla seleccionada es caracterizada mediante las exigencias dispuestas en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad, sección D VIII, Bases y carpetas preparadas en caliente, edición 1998 [31]; mediante las especificaciones del 2006 de la Comisión Permanente del Asfalto, y mediante las Especificaciones Técnicas Generales de concretos asfálticos Densos, Semidensos y Gruesos en caliente, en su punto 3.1 Criterios de dosificación.

La Tabla 1 presenta los resultados de los ensayos de laboratorio. Los mismos se obtienen mediante el ensayo Marshall, el cual permite caracterizar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica. Así, las probetas confeccionadas se ensayan según la Norma VN – E9 – 86 [32].

Tabla 1. Resultados y exigencias para un Concreto
Asfáltico Convencional CAC D20

Ensayo	Resultado	Exigencia
Vacíos (%)	3,5	3 – 5
Relación Betún - Vacíos (%)	77	68 – 78
Estabilidad (kg)	919	>800
Porcentaje de vacíos de agregado mineral	15,0	>14
Porcentaje mínimo de ligante (%)	4,9	5,0
Relación Estabilidad – Fluencia (kg/cm)	3465	2500 – 4500

Nota: El cemento asfáltico empleado es del tipo CA-30.

Las Figuras 11 a la 16 muestran los pasos para el diseño de la mezcla.



Figura 11. Equipamiento empleado para confección de probetas



Figura 12. Compactador Marshall y equipo para desmolde de probetas



Figura 13. Determinación de peso al aire y peso sumergido de probetas Marshall



Figura 14. Inmersión en baño de agua termostatzado a 60 °C durante 40 minutos y ensayo de estabilidad/fluencia de las probetas



Figura 15. Disgregado y cuarteo de la mezcla para Densidad Rice y Recuperación



Figura 16. Determinación de Densidad Rice

Luego se procede a la recuperación del asfalto, estipulada en el procedimiento VN – E69 – 78 Determinación del Contenido de Asfalto en Mezclas en caliente por el Método de Centrífuga de finos, determinándose el porcentaje de cemento asfáltico [33], Figura 17 y Figura 18. Con los agregados recuperados, Figura 19, se establece la curva granulométrica de la estructura granular, Figura 20.



Figura 17. Determinación del contenido de asfalto por centrífuga



Figura 18. recuperación de finos mediante centrífuga de vasos



Figura 19. Granulometría de áridos recuperados
a) vía húmeda; b) vía seca

Los resultados obtenidos se vuelcan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de la mezcla asfáltica CAC D20

Diseño de mezcla asfáltica tipo CAC D20

LEMaC / UTN - FRLP

Nº de Lab.	Material = Mezcla asfáltica				inf. Nº Exped. =
Fecha = 07/01/2010	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	Peso en aire	Peso sumerg.	Volumen	Densidad	Estabilidad		Estabilidad corregida	Fluencia	Relacion Est/Fluen	Vacios
	gramos	gramos	cm ³	g/cm ³	lectura	fact corr	kg.	mm	kg/cm	%
1	1198	689	510	2,352	101	1,00	872	2,5	3489	3,3
2	1190	686	503	2,363	102	1,04	916	3,1	2955	2,8
3	1200	689	511	2,348	103	1,00	890	3,2	2780	3,4
4	1163	666	498	2,337	105	1,04	943	2,2	4287	3,9
5	1187	681	506	2,345	107	1,04	961	2,2	4368	3,6
6	1191	682	509	2,339	108	1,00	933	3,2	2915	3,8
Promedio	1188,3	682,1	506,2	2,347	104,3	1,0	919,1	2,7	3465,6	3,5

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	

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	

Factores de correcc. por volumen	444	456	1,25
	457	470	1,19
	471	482	1,14
	483	495	1,09
	496	508	1,04
	509	522	1,00
	523	535	0,96
	536	546	0,93
	547	559	0,89
	560	573	0,86
	574	585	0,83
586	598	0,81	

Análisis granulométrico de los agregados recuperados
Curvas límites dadas por la CPA y la DNV

Tamiz	P.R.A.	% R.A.	Lim. Inf.	% Pasa	Lim. Sup.
1"	0,0	0,0	100	100,0	100
3/4"	0,0	0,0	100	100,0	100
1/2"	214,4	15,6	85	84,4	100
# 4	581,0	42,2	53	57,8	80
# 10	804,6	58,4	35	41,6	60
# 40	1000,0	72,6	20	27,4	40
# 80	1156,0	83,9	10	16,1	30
# 200	1332,0	96,7	3	3,3	10
Fondo	1370,0	99,4		0,6	

Densidad Marshall Promedio (g/cm³) = Dm

2,347

Vacios Promedio (%) = Vm

3,5

Vacios agregado mineral (VAM) (%)

15,0

Relación Betun / Vacío (%)

76,9

La curva granulométrica de los áridos recuperados presenta buena integración entre los límites impuestos en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad, y entre los husos granulométricos impuestos por la CPA en sus Especificaciones Técnicas de Mezclas Asfálticas en Caliente para una CAC D20, Figura 20.

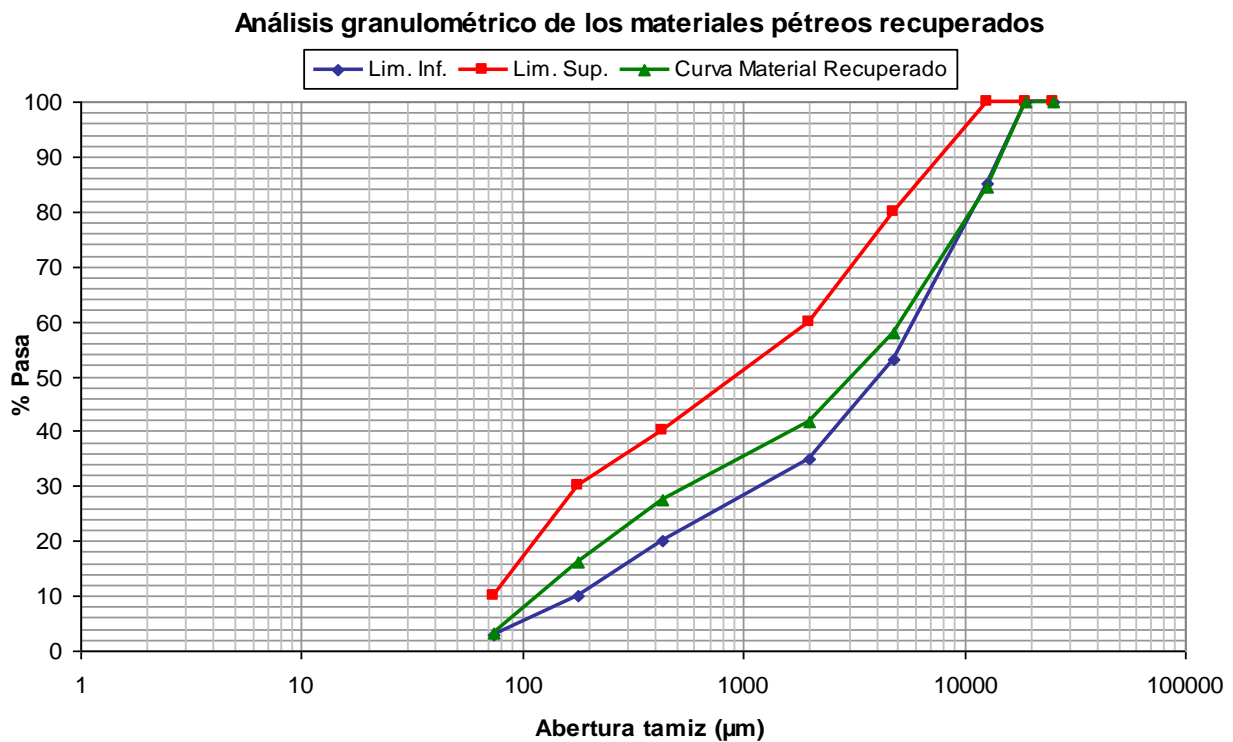


Figura 20. Curva granulométrica de los áridos recuperados

III.2 Emulsión asfáltica

La elección de la emulsión, para una aplicación en particular, es una cuestión de adecuación de la reactividad de la emulsión con la reactividad de los materiales con los que entra en contacto y las condiciones ambientales [34]. La emulsión utilizada en la confección de las probetas es una emulsión asfáltica modificada con polímero del Tipo SBS (ECRR-M) la misma fue suministrada por YPF (Yacimiento Petrolíferos Fiscales), Argentina. Sobre esta emulsión se realizan los ensayos de caracterización; los parámetros obtenidos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de la emulsión considerada

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 residuo de destilación			
Penetración de residuo	0,1 mm	6576	70
Ductilidad	cm	6579	>100

III.3 Material geosintético

En el ámbito nacional se reconoce como geosintéticos a aquellos materiales que se presentan en forma de fieltro, manto, lámina o estructura tridimensional, los cuales se colocan en contacto con el suelo o con otros materiales, formando parte de obras de geotecnia o de ingeniería civil. En estos materiales, al menos uno de sus componentes posee como materia prima polímeros sintéticos o naturales [7].

Para definir con exactitud que es un material geosintético es conveniente recurrir a las fuentes del conocimiento técnico. "International Geosynthetic Society" (IGS) [35] los define como "Materiales fabricados con polímeros (polipropileno, poliéster, polietileno, etc.) que se emplean para mejorar, aumentar y hacer más económicos proyectos medioambientales, de las infraestructuras de transporte, obras geotécnicas e hidráulicas".

III.3.1 Función del geosintético

La función de un geosintético se refiere al papel específico que éste cumple dentro de la estructura en la cual se coloca. La función es una tarea o capacidad que se espera que el material desempeñe con efectividad, como complementar, conservar o mejorar el funcionamiento de las estructuras o el sistema constructivo, e inclusive en algunos casos, sustituir parte o completamente los materiales de la construcción tradicional.

Un geosintético puede desempeñar más de una función al mismo tiempo para una aplicación dada [36]. Se determina cuál es la función más importante que debe cumplir y sobre esta base se diseña.

III.3.2 Experiencia con geosintéticos

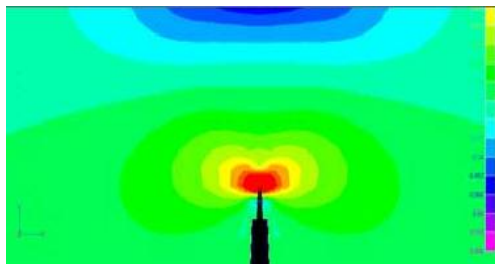
Numerosas investigaciones han sido desarrolladas considerando la intervención de los geosintéticos como sistemas anti-reflejo de fisuras. [37]; [17]; [18]; [19]; [38]; [20]; [39], entre otros.

La utilización de materiales geosintéticos no se encuentra debidamente difundida en Argentina; los materiales que se comercializan al respecto son en su mayoría importados y recientemente algunos son de origen nacional. La oferta no es variada y no se realizan controles de calidad del material, existiendo un desconocimiento en el desempeño de esta tecnología por los ingenieros a la hora de la elección del tipo de material a utilizar según las distintas problemática que demanda la obra.

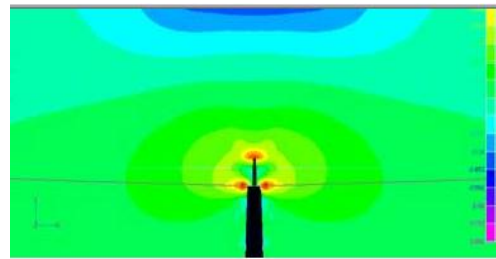
Existen numerosos estudios sobre la aplicación de estos materiales para la recuperación de pavimentos deteriorados. Las principales funciones de ciertos tipos de geosintéticos son la de disipar las tensiones generadas en la

punta de la fisura y convertirlas en micro fisuras, retardando su propagación a la superficie [40].

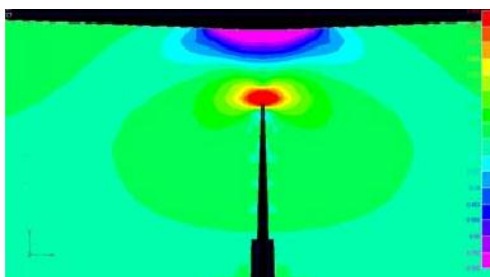
En la Figura 21 se puede observar el comportamiento de una viga sometida a carga de flexión cuando está compuesta con y sin un material geosintético como sistema anti-reflejo de fisura.



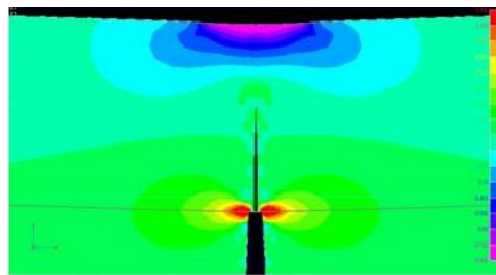
a) Sin geogrilla, longitud de fisura 1,0 cm



b) Con geogrilla, longitud de fisura 1,0 cm



c) Sin geogrilla, longitud de fisura 5,0 cm



d) Con geogrilla, longitud de fisura 5,0 cm

Figura 21. Propagación de fisura (tensión de tracción en vigas)

Fuente: [41]

Se observa en el estado inicial la extremidad de una fisura, donde la región de máxima tensión de tracción esta representada por el color rojo, Figuras 21.a y 21.c. Cuando se introduce un material geosintético la tensión experimenta una reducción debido a que el material toma parte de esa tensión, Figura 21.b.

En un determinado momento, el nivel de tensión de tracción actuante en la extremidad de la fisura llega a ser suficientemente pequeña, Figura 21.d. Una vez que el problema del reflejo de fisura es controlado, la durabilidad de la capa de rodamiento pasa a ser función de las características a fatiga de la propia capa asfáltica.

Debido a los avances del desarrollo tecnológico y los crecientes desafíos de la ingeniería, se cuenta con nuevos materiales que brindan mayor resistencia debido al polímero utilizado en su producción.

La Aramida y el PVA son utilizados con especificaciones técnicas exclusivas (fuera de la línea estándar de producción), en proyectos que justifiquen su uso ya que se trata de polímeros con propiedades mecánicas superiores debido a la posibilidad de fabricar filamentos de mayor tenacidad, alcanzando elevada resistencia a la tracción con niveles de deformación en rotura mucho más bajos [42].

Sin embargo, de la amplia gama de materiales disponibles, para que un geosintético introducido entre capas pueda cumplir su función de refuerzo, es imprescindible que:

- Resista los esfuerzos impuestos por el tránsito y por los equipos de construcción de la obra como así también la temperatura de aplicación de la mezcla asfáltica.
- Presente una elevada resistencia a la tracción a fin de absorber las tensiones de tracción del revestimiento asfáltico.
- Posea una perfecta adherencia con las capas de forma que permita la distribución y transferencia de los esfuerzos de tracción.

- Resistencia a la fatiga o sea que absorba los esfuerzos impuestos por las cargas dinámicas del tránsito y la variación de temperatura durante la vida útil del pavimento [43].

El material utilizado en la parte experimental de este trabajo es una grilla de malla de 40x40 mm, conformado por fibras en poliéster unidas a una manta en polipropileno, Figura 22.



Figura 22. Material geosintético utilizado

El material geosintético trabaja dentro del paquete estructural absorbiendo las tensiones que se generan en la fibra inferior de la capa de refuerzo sobre la cual se instala el material, cumpliendo la función de coser las fisuras existentes en un pavimento deteriorado o en correspondencia con juntas de un pavimento de hormigón [29]. Es por ello que en primera instancia se realiza el ensayo de tracción según normativa IRAM 78012 [44], utilizando la máquina a tracción EMIC DL 10000 la cual (Figura 23), a través de su software de registro continuo, emite una curva Tensión vs Deformación del material. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados a tracción del material geosintético

Dirección de ensayo	Carga Max (KN/m)	Deformación Max (mm)	Def. Rotura (mm)
Paralela al rollo	31,79	19,26	23,06
Transversal al rollo	25,25	15,88	20,36



Figura 23. Equipo de tracción EMIC DL 10000

III.3.3 Confección de probetas

En un molde de 30x30 cm de lado se compacta la capa inferior de mezcla asfáltica, cuyo espesor es variable y de acuerdo a la posición relativa en que se coloca el material geosintético, a la temperatura de compactación (160 °C). Para el moldeo de la mezcla asfáltica, se utiliza el equipo Roller Compact Modelo STCX-2 (Figura 24); el equipo se acondicionó a 150 °C efectuando 24 pasadas. Se deja enfriar la capa, luego se realiza la aplicación del riego de emulsión asfáltica que según 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 0,5 l/m², una vez curada la emulsión se procede a la colocación del material geosintético, cuidando que no queden arrugas, para luego compactar la capa superior de mezcla asfáltica hasta alcanzar 120 mm de espesor de la probeta.

Una vez confeccionadas las probetas, se les realiza un corte en la parte inferior de la base de 2 cm de altura, la que representa una fisura o junta bajo la ubicación del material geosintético, luego se procede a cortarlas en forma transversal a la “fisura” creada, quedando así tres probetas de dimensiones de 10 cm de ancho por 30 cm de largo para cada sistema a ser ensayado.



Figura 24. Equipo Roller Compact

La Figura 25 presenta la ubicación del material geosintético dentro del sistema; en el 1º esquema el material se encuentra a 40 mm sobre la base de la capa inferior, siendo de 80 mm el espesor de mezcla asfáltica compactada sobre el geosintético; en el 2º esquema el material geosintético se encuentra ubicado a 60 mm, siendo de 40 mm el espesor de mezcla

asfáltica compactada sobre el geosintético, mientras que en el 3º esquema el geosintético se encuentra a 80 mm, siendo de 40 mm el espesor de mezcla asfáltica compactada sobre el mismo.

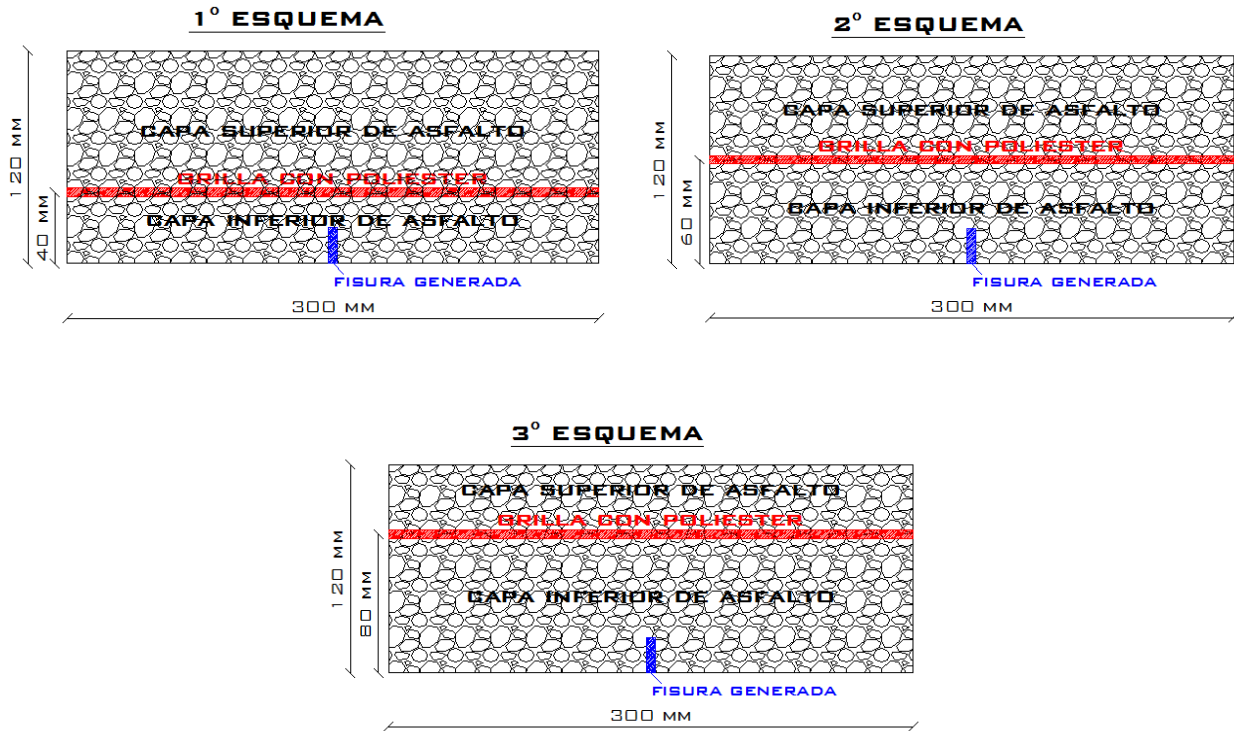


Figura 25. Esquemas de ubicación del material geosintético

Para los ensayos se corta la probeta moldeada en tres para obtener las muestras a ensayar, Figura 26.



Figura 26. Corte de la probeta

La mezcla asfáltica utilizada como capa de refuerzo, diseñada en previamente en laboratorio se obtiene de una de las empresas que produce diariamente la mezcla para las obras de pavimentación de la Municipalidad de La Plata, la cual cumple con las exigencias del diseño. De esta manera se cuenta con cantidad suficiente para el moldeo de la parte experimental y el control rutinario de la mezcla mediante técnica de cartas de control, permitiendo mantenerla uniforme para la confección de las probetas.

III.3.4 Ensayo de Módulo de Rigidez

Las probetas, confeccionadas con los procedimientos descritos con anterioridad, se colocan sobre el sistema de apoyo materializado por varillas metálicas de acero liso de 25 mm de diámetro en los extremos, Figura 27. Mediante este apoyo se representa la capacidad de deformación y trabajo de la fisura ante las sollicitaciones del ensayo, que simulan la carga dinámica del tránsito.

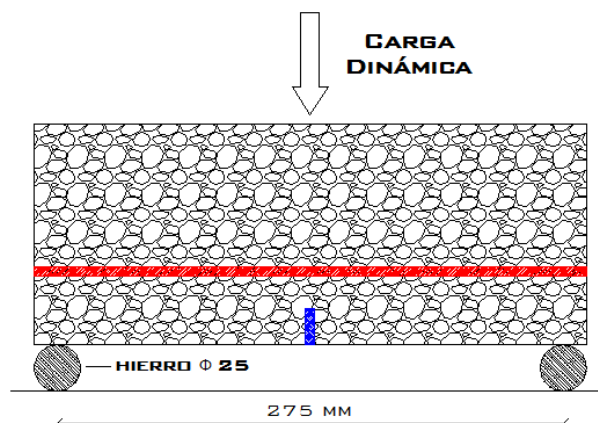


Figura 27. Esquema del sistema de apoyo

Se implementa el equipo de módulo dinámico, descrito en la Norma UNE EN 12697-26, adaptándolo a lo que denominamos Módulo de Rigidez (MR),

Figura 28, el cual permite que la misma sea aplicada con distintas frecuencias de repetición.

El equipo empleado consta de un actuador neumático, que posibilita la variación de cargas en un rango de 0 a 4,9 kN, y a diversas frecuencias, desde 0,2 Hz a 20 Hz. Todo el equipo se encuentra en una cámara termostatazada que permite trabajar a temperaturas comprendidas entre 5 y 40 °C manteniendo acondicionadas las muestras.



Figura 28. Equipo de Módulo de Rigidez

III.3.4.1 Procedimiento de ensayo

Se adapta el instrumental de laboratorio para ejercer una carga linealmente distribuida sobre una viga simplemente apoyada. De esta manera el espécimen ensayado se somete a flexión por cargas repetidas, generándose tracción en su fibra inferior. En este caso, luego de plantear distintos tipos de configuraciones de acuerdo a la bibliografía analizada, se desarrolla el ensayo bajo las siguientes condiciones de borde:

Carga Máxima	P = 400 kg
Frecuencia	F = 0,5 Hz
Temperatura	T = 25 °C ± 0,5 °C
Distancia entre apoyos	D = 250 mm

Si bien, tanto la frecuencia de carga como la intensidad de aplicación de la misma, no son comparables con cargas reales de sollicitación, el modelo respeta la forma dinámica en que son aplicadas las cargas; de esta forma, los tiempos obtenidos para el inicio y propagación final de la fisura a la capa superficial son indicadores comparables bajo las mismas condiciones de borde.

Resulta importante considerar esta situación ya que es posible que el comportamiento de los sistemas pueda registrar variaciones según se modifiquen las condiciones de borde.

IV. RESULTADOS

La Tabla 5 presenta los resultados alcanzados ante el fenómeno de fisuración reflejando interponiendo el material geosintético a diferentes niveles del paquete estructural. Los mismos son comparados con la probeta que no considera la interposición del material geosintético.

La última columna de la Tabla 5 presenta el factor de efectividad (FEf) del material según su ubicación. Este coeficiente es determinado en el ensayo propuesto como la relación entre el número de ciclos que provocan la falla en especímenes con geosintético (Nr) dividido el número de ciclos que provocan la falla en especímenes sin geosintético (Nn). El mismo adopta valores

mayores de 1 si el material brinda un mejoramiento en el refuerzo, y valores menores a la unidad si no posee un aporte sobre el sistema de referencia. El tránsito a utilizar en el cálculo del refuerzo es minorado por dicho coeficiente FEf; en ese caso, los valores de espesores del refuerzo resultan menores que en el caso de la no aplicación del geosintético, según el material utilizado [45].

Se define el factor de efectividad FEf de la siguiente forma:

$$FEf = Nr/Nn$$

Donde:

FEf = coeficiente de efectividad del geosintético.

Nr = número de ciclos de carga que generan la falla en probetas con geosintético.

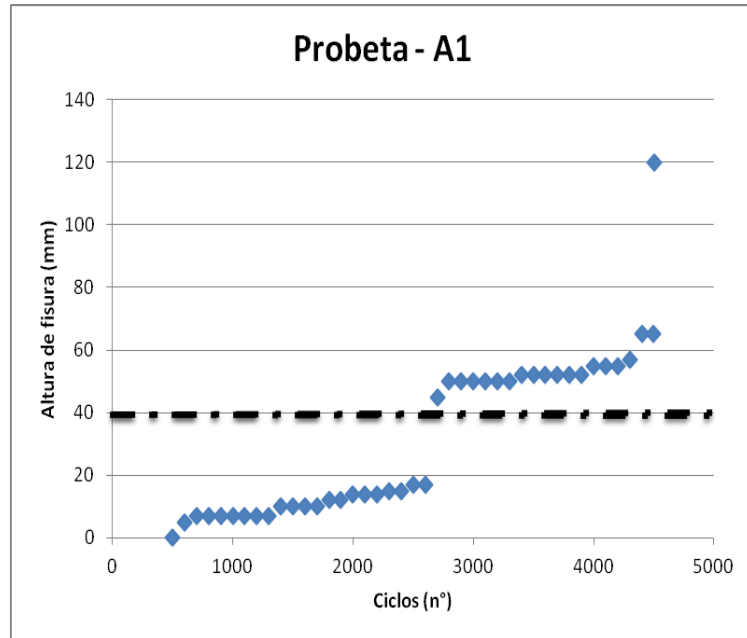
Nn = número de ciclos de carga que generan la falla en probetas sin geosintético "Referencia".

Tabla 5. Resultados de propagación de fisuras interponiendo un geosintético a diferente nivel del refuerzo asfáltico.

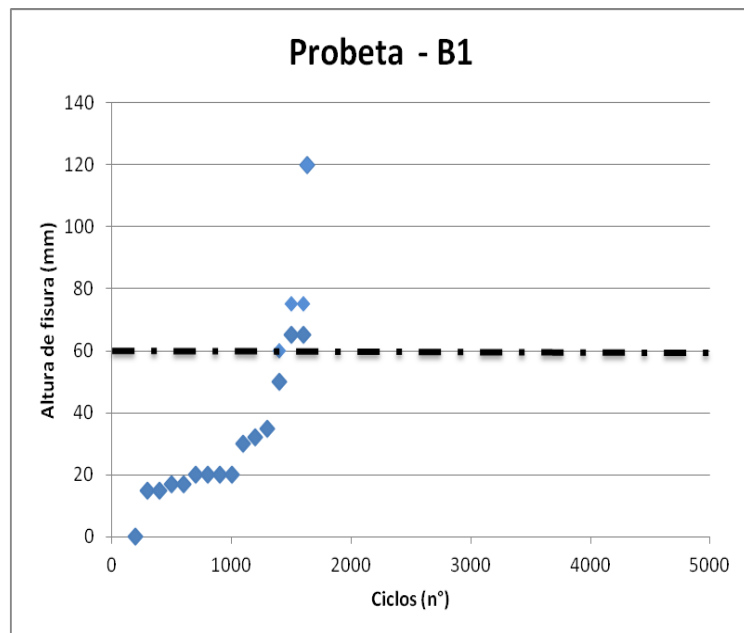
Ubicación desde la base (mm)	Ciclos de carga (nº)	FEf (Nr/Nn)
Sin geosintético	12	1
40 mm (probetas A)	3424	285
60 mm (probetas B)	1830	152
80 mm (probetas C)	792	66

Nota: los resultados son promedio de tres determinaciones por cada nivel de ubicación del material geosintético.

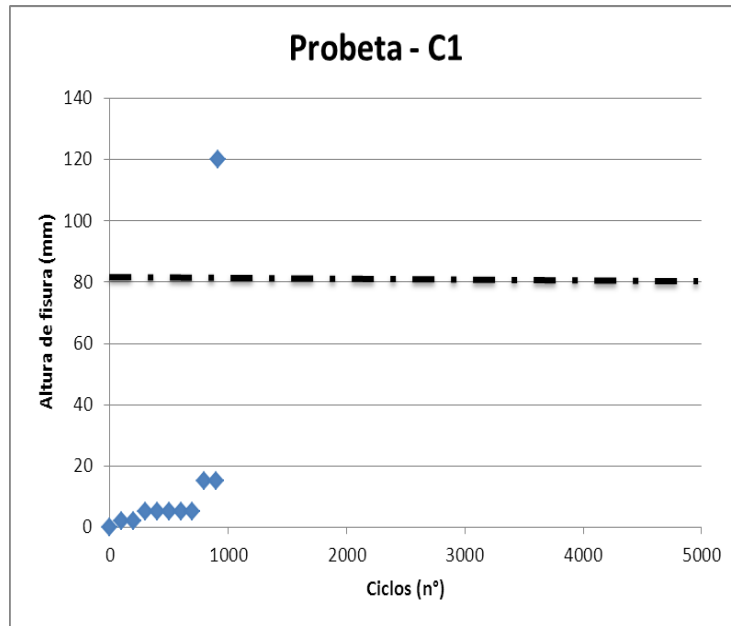
La Figura 29 presenta la altura, en milímetros, en que la fisura se va desarrollando para los números de ciclos de cargas aplicadas. La Figura 30 presenta la rotura de las probetas. En estas puede apreciarse como fue el camino de la fisura hasta alcanzar la superficie de la capa.



Geosintético ubicado a 40 mm



Geosintético ubicado a 60 mm



Geosintético ubicado a 80 mm

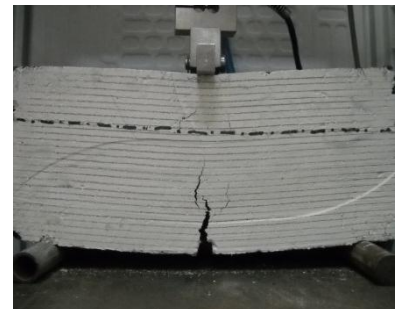
Figura 29. Recorrido de la fisura para cada nivel del geosintético



40 mm



60 mm



80 mm

Figura 30. Propagación de fisura para diferente ubicación del material geosintético.

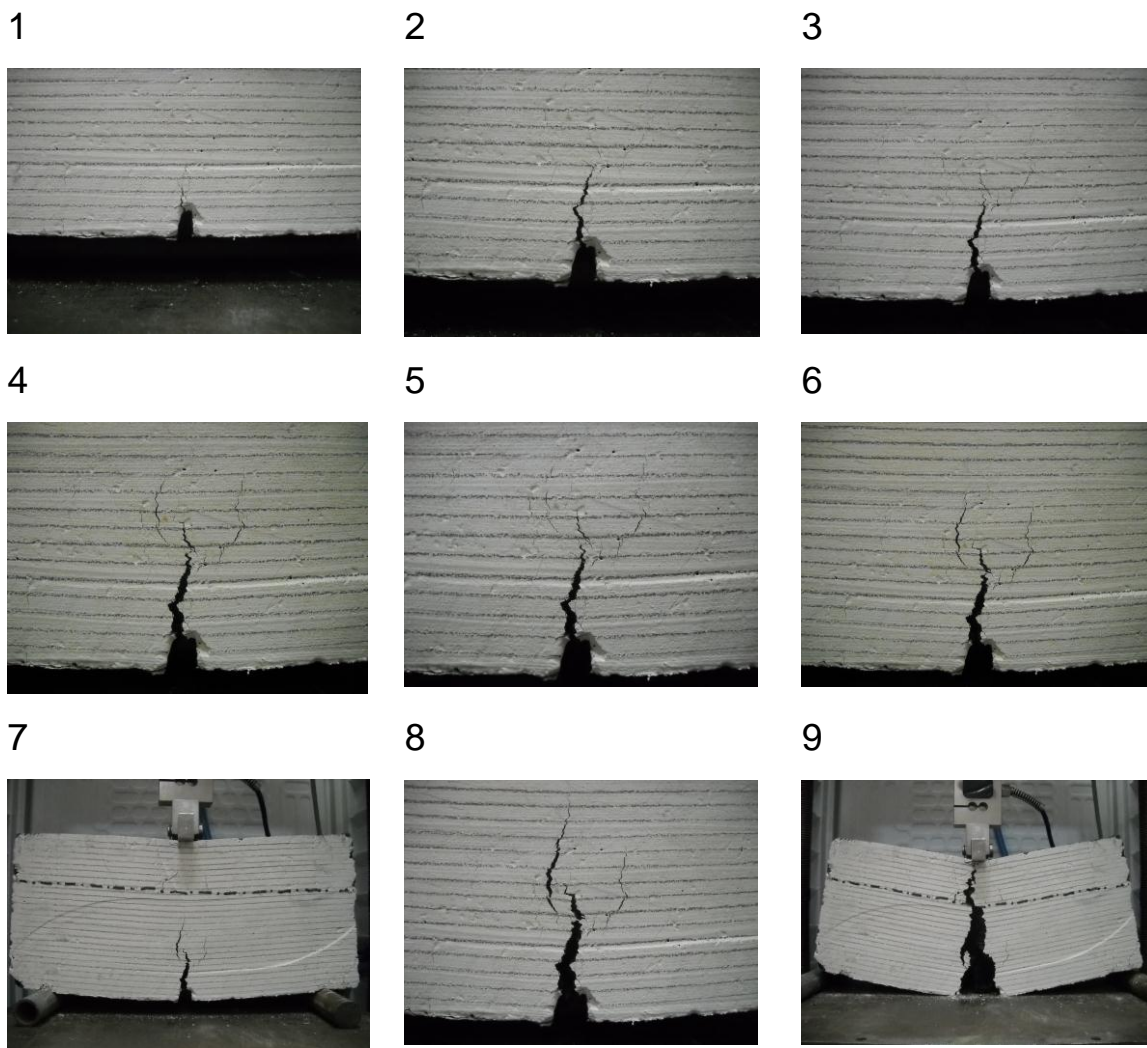


Figura 31. Secuencia de ensayo de probeta con geosintético ubicado a 80 mm de la fibra inferior.

En la Figura 31 puede apreciarse el comportamiento de la mezcla asfáltica ante los ciclos de carga. La propagación se evidencia rápidamente donde el ascenso vertical de la fisura va acompañando las caras de los agregados que encuentra a medida que la fisura se desarrolla. Una vez que se genera la fisura, esta comienza a crecer a través del espesor de la capa de refuerzo, el camino que sigue depende de la fatiga de la mezcla ante la carga cíclica, donde se van formando micro fisuras que luego se van uniendo formando fisuras de mayor tamaño, las cuales se van uniendo a la fisura principal,

hasta llegar al colapso de la estructura sin permitir al geosintético trabajar efectivamente.

En algunos casos se evidenció la falta de adherencia entre las capas, siendo este fenómeno un factor importante en las determinaciones de los resultados, Figura 32.

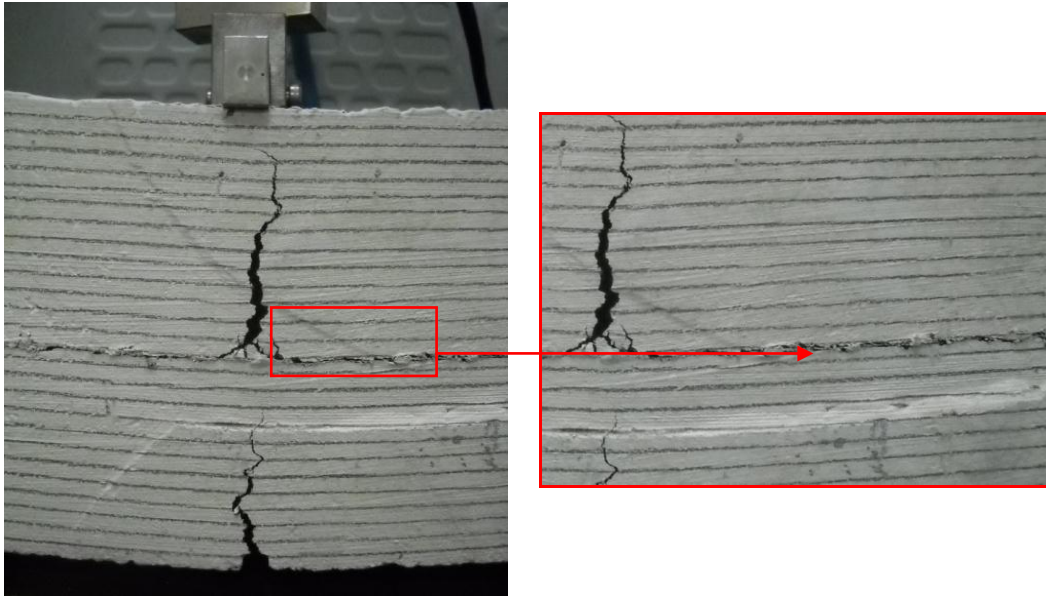


Figura 32. Falta de adherencia entre capas y el material geosintético.

Se observa al no conseguirse buena unión entre las capas y el material geosintético, que el sistema no trabaja monolíticamente. Al no estar ligadas las capas éstas trabajan en forma independiente una de otra, disminuyendo la capacidad portante del sistema.

Para verificar el comportamiento del sistema ante el problema evidenciado, se realizaron pruebas de adherencia por corte de la interfase que vincula los materiales.

IV.1 Adherencia mediante ensayo de corte LCB

El ensayo LCB somete a testigos extraídos en campo o probetas confeccionadas en laboratorio a un esfuerzo de corte por flexión y permite valorar la tensión de adherencia que se genera en el plano de discontinuidad.

Se implementa este ensayo determinando diferentes parámetros:

- *Resistencia de adherencia:* Se calcula la resistencia de adherencia, τ , expresada en MPa, directamente de los datos obtenidos de la máquina de ensayo, utilizando la siguiente Ecuación :

$$\tau = \frac{P}{2 \cdot A_T} \cdot 0,0980665$$

donde:

τ : es la resistencia de adherencia, en MPa

P: es la carga máxima, en kilogramos, aplicada por la celda de carga que corresponde al doble de la carga en la reacción.

A_T : es el área transversal de la probeta, en centímetros cuadrados

- *Deslizamiento correspondiente a la carga máxima:* Del registro continuo de deformación se identifica y se registra la deformación correspondiente a la carga máxima, en milímetros.
- *Trabajo resistido por el espécimen:* Para calcular el trabajo resistido por el espécimen de ensayo T, expresado en kilogramos fuerza x milímetros, se aplica la siguiente ecuación sobre el registro continuo de la máquina de ensayo.

$$T = \sum \Delta D \cdot \Delta C_{prom}$$

donde:

ΔD : es el diferencial de deslizamiento entre dos registros sucesivos de la máquina de ensayo

ΔC_{prom} : es el valor de reacción promedio para un intervalo de deslizamiento igual al ΔD correspondiente. Entendiéndose como reacción a la carga realmente aplicada en la interfase (P/2).

La Figura 33 y la Figura 34 presentan el instrumental implementado para la realización del ensayo LCB.

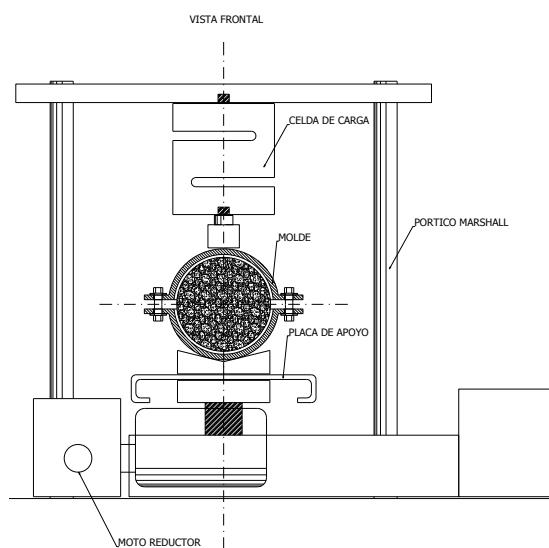


Figura 33 vista frontal de la máquina para el ensayo de corte por flexión LCB

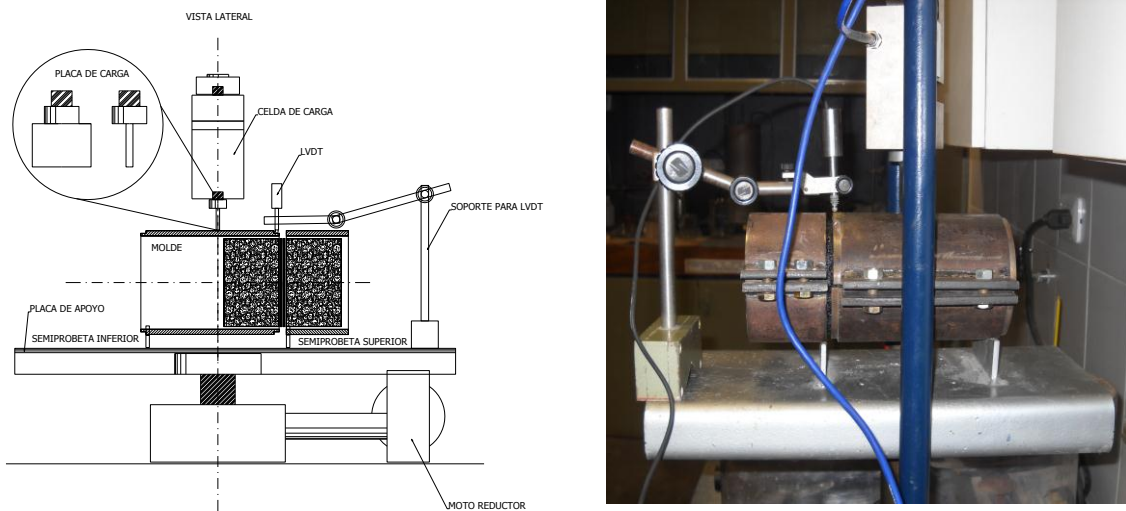


Figura 34 vista lateral de máquina para el ensayo de corte por flexión
LCB

Se confecciona un mínimo de tres probetas de ensayo.

Las probetas poseen dimensiones similares a las probetas Marshall (101,6 mm de diámetro) pero con el doble de su altura.

Tabla 6. Resultado de Adherencia entre capas asfálticas con y sin la interposición de geosintético.

Material	Carga aplicada (kg)	Carga en la interfase (kg)	Deformación a carga máx. (mm)	Tensión a carga máx. (MPa)	Trabajo (kg.mm)
Referencia	804,62	402,31	1,42	0,47	599,4
Con Geosintético	554,34	277,17	0,82	0,33	383,9

Nota: los resultados son el promedio de tres determinaciones

En el caso de introducir el material entre capas asfálticas, el sistema reduce la adherencia en comparación con el sistema de referencia.

Se determina un coeficiente de adherencia (CA_d), Tabla 7, comparando la tensión de adherencia de la muestra con material geosintético, con la tensión de adherencia máxima obtenida entre contacto íntimo mezcla/mezcla.

Visto en fórmula matemática sería:

$$CA_d = \frac{\tau Ad_1}{\tau Ad_{max}}$$

donde:

CA_d = Coeficiente de Adherencia = (adimensional)

τAd_1 = Tensión de adherencia de la muestra con material = (kg/cm²)

τAd_{max} = Tensión de adherencia máxima entre contacto íntimo hormigón – mezcla = (kg/cm²)

Tabla 7. Coeficiente de adherencia CA_d

Material	Carga aplicada (Kg)	Tensión (MPa)	Tensión (Kg/cm ²)	CA _d
Referencia	804,59	0,47	4,79	1,00
Con Geosintético	554,34	0,33	3,36	0,70

Se observa que el coeficiente de adherencia (CA_d) se reduce cuando se interpone un material geosintético entre las capas.

V. CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

- Los resultados a tracción del material geosintético permiten una perspectiva en cuanto a la carga y deformación que el material es capaz de desarrollar para coser una fisura existente en un pavimento.

En función del estado del pavimento y los movimientos que este manifiesta puede inferirse con que tipo de geosintético uno puede trabajar efectivamente, dentro de la amplia gama que el mercado ofrece.

- El material geosintético logra un considerable retraso en la progresión de una fisura que tenderá indefectiblemente a propagar como consecuencia de la aplicación repetida de la carga. Dependiendo de la posición del material geosintético se logra una mayor efectividad del material según su ubicación dentro del paquete estructural.
- El nivel para el cual se obtiene el mejor comportamiento del material geosintético es cuando se localiza lo más cercano a la fibra más traccionada de la capa de refuerzo, por debajo de la línea neutra del sistema, donde se prevé que comience a trabajar ni bien la fisura comienza a crecer.
- El mecanismo de propagación es retro alimentable, a medida que avanza la fisura, la zona resistente del pavimento disminuye siendo mayores las tensiones concentradas en la extremidad de la fisura, repitiéndose el proceso con mayor intensidad en cada ciclo de carga.
- En el caso de tener que rehabilitar un pavimento, no se justifica la colocación de una capa mayor a los 2 cm de espesor, debido a que la fisura alcanza la posición del material interpuesto en un corto período de tiempo, para luego comenzar a actuar el efecto de costura que el material geosintético ofrece.
- La adherencia entre las capas y el material geosintético es un factor importante en el comportamiento del paquete estructural. El material

geosintético debe estar adecuadamente adherido con las capas para poder absorber la energía de propagación de la fisura, de lo contrario las capas se comportan en forma individual, lo que se traduce en una mala o nula distribución de tensiones en el espesor total del pavimento.

- Los resultados obtenidos experimentalmente justifican el empleo de los materiales con el fin de prevenir la propagación de fisuras, encontrando que los mismos afectan la adherencia entre capas asfálticas.
- Considerando la base de datos de las normativas más actualizadas, se observó que no existe normativa ni consenso entre los distintos investigadores en cuál de todos los equipos disponibles en el mercado internacional es el más representativo, ya que todos tienen diferentes condiciones de borde en los ensayos. Por ello, es que resulta imprescindible llegar a un consenso en las dimensiones de las probetas; equipo y condiciones de carga y la temperatura con el propósito de unificar los distintos ensayos a nivel mundial y lograr trabajos de inter laboratorios que permitan adoptar valores límites de aceptación y/o rechazo de los diferentes materiales que pueden ser considerados en la estructura de un pavimento.
- Los límites tolerables de una buena o mala adherencia o de un sistema efectivo como anti-reflejo de fisura se fundamentan en su comportamiento frente a la condiciones del sistema de referencia adoptado.

VI. REFERENCIAS

- [1] Keane Thomas P. [1996]. The economic importance of the national Highway System. Public Road, Vol. 59. N°4. United States Department of Transportation - Administración Federal de Carreteras.
- [2] Tamames R. [2003]. Una Visión Global desde La Economía Ecológica: Desarrollo Sostenido y Desarrollo Sostenible, La Nueva Cultura de Las Carreteras. Asociación Española de la Carretera, 13-33.
- [3] Ibarrola H. [2008]. La Importancia de la Infraestructura Carretera en el Desarrollo Económico de un País. Revista Rutas, N° 127, 2-3.
- [4] Davies Robert M.; Sorensom Jim [2000]. Insights into Pavement preservation. Federal Highway Administration. Washintong DC. 26 p.
- [5] Peshkin, D. G.; Hoerner T. E.; Smith K. D.; Bruinsma J. E. and Seeds S. B. [2004]. 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.
- [6] Elseifi, M., and Al-Qadi, I. [2003]. Un Modelo Simplificado Anti-Reflejo de Grietas. Documento N° 03-3285 presentado en el Transportation Research Board 82, Washington, D.C.
- [7] UTN LEMaC; INTI-CIT [2003]. Geosintéticos. Desde la fabricación a su aplicación en obra. ISBN 950-42-0043-5. 338 p.

- [8] Tostiscarelli J. y Godoy A. [1993]. Uso de geotextiles para prevenir reflexión de fisuras en rehabilitación de pavimentos. 7º Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Trabajo T3-04. Venezuela.
- [9] Montestruque Vilchez Guillermo E. [2002]. 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. Universidad de São Pablo, Brasil.
- [10] Franken A.; Valnestraete L. [2005]. Reflective of Reflective Cracking in Pavements. RILEM Report 18. ISBN: 0-419-22950-7 print edition. Belgian Road Research Centre, Brussels, Belgium. 136 p.
- [11] Rodrigues R. M. [1991]. Estudo do tricamento dos pavimentos. Tese doctorado. Universidad Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro RJ. Brasil.
- [12] Medina J. and Motta L. [2005]. Mecânica dos Pavimentos. Editado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). 2ª Edição. Rio de Janeiro.
- [13] Nunn M. E. [1989]. Una investigación de fisuras en pavimentos compuestos de reflexión en el Reino Unido. Actas de la 1er conferencia sobre reflexión de fisuras en pavimentos. Evaluación y Control. Rilem 1989. pp. 146-153
- [14] De Bondt A. H. [1999]. Anti-reflectante diseño de cracking (reforzado) superposiciones asfálticos. Tesis doctoral. Universidad Tecnológica de Delft. Holanda. ISBN 90-6464-097-1. 335 p.

- [15] Moreno Oscar [2010]. Evaluación de la fisuración refleja en una experiencia de repavimentación con concreto asfáltico sobre un pavimento de hormigón. Reunión del Asfalto 2010. Bs As. Argentina.
- [16] Rodrigues, R. M. [2001]. Modelos para Previsão do Desempenho de Pavimentos Rodoviários e Aeroportuários no Brasil. Relatório Final da Pesquisa CNPq, Processo N° 301314/96-9.
- [17] Lytton R. L. [1989]. Use of geotextiles for reinforcement and strain relief in asphalt concrete Geotextiles and Geomembranes, Vol. 8, pp. 217–237
- [18] Kim J.; Buttlar W.G. [2002]. Analysis of reflective crack control system involving reinforcing grid over base-isolating interlayer mixture Journal of Transportation Engineering, Vol. 128, pp. 375–384
- [19] Virgili A.; Canestrari F.; Grilli A.; Santagata F. A. [2009]. Repeated load test on bituminous systems reinforced with geosynthetics Geotextiles and Geomembranes, Vol. 27, pp. 187–195
- [20] Baek J.; Al-Qadi I. L.; Buttlar W. G. [2010]. Effect of Field Condition Parameters on the Performance of Geosynthetic Based Interlayer Systems Used to Control Reflective Cracking in Hot-Mix Asphalt Overlays. Proceedings of the 9th International Conference on Geosynthetics, Brazil, pp. 1473–1476
- [21] Maroni Laerte G. [1993]. El uso de Geotextiles en repavimentación asfáltica. Una experiencia reciente. Revista Carreteras. Edición N° 140, p. 57-66.

- [22] Sousa, J.; Pais, J.; Saim, R.; Way, G.; and Stubstad, R. [2001]. Desarrollo de un modelo de diseño de sobrecapa mecánico basados en los principios de reflejo de grietas. Asociación de Productores de Asfalto Modificado con Caucho.
- [23] Cleveland Gregory S. et al, [2002]. Geosynthetic in flexible and rigid pavement overlay system to reduce reflection cracking. Report 1777-1. Texas Department of Transportation Institute.
- [24] Khodaii A. y Fallah Sh. [2009]. Effect of geosynthetic reinforcement on the propagation reflection cracking in asphalt overlays. Vol 7, N°2, 131-140. Departament of Engineerin, Amirkabir University of technology. Theram, Irán.
- [25] Norman R. [2009]. Extending pavement life by forestalling crack reflection. Chapter 4. Paper 24, 219-226. California, USA.
- [26] Al-Qadi, I.; Lahouar, S.; Loulizi, A.; Elseifi, M. and Wilkes, J. [2004]. Effective Approach to Improve Pavement Drainage Layers. Journal of Transportation Engineering, 130 (5), 658-664
- [27] Bardesi Alberto et al., [1995]. Aplicaciones de los geotextiles en emplanadas y capas de firme. Revista Rutas N°50. ISSN: 1130-7102. Septiembre 1995. España.
- [28] Navas Alejandro; Loria Luis; Elie Y. Hajj [2006]. Desempeño a largo plazo de las técnicas de mitigación de reflejo de grietas en el estado de Nevada. Universidad de Nevada Reno-MS257. Estados Unidos de América.

- [29] Delbono H. L. [2015]. Estudio de grillas poliméricas en sistemas anti reflejo de fisuras bajo solicitaciones dinámicas. Tesis Doctoral. ISBN: 978-987-1896-38-7. La Plata. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.
- [30] Souza Natalia C. y Souza Bueno Benedito [2011]. Efecto de la impregnación bituminosa en geotextil no tejido a la tracción y propiedades de permeabilidad. Geotextiles y Geomembranas. Vol 29. pp. 92-101
- [31] Dirección Nacional de Vialidad (1998). Pliego de Especificaciones Técnicas Generales.
http://www.vialidad.gov.ar/corredores%20viales/archivos/2_llamado%20licitacion/PETG.pdf
- [32] Norma de ensayo de Vialidad Nacional (2008). VN – E9 – 86. Ensayo de Estabilidad y Fluencia por el Método Marshall. Dirección Nacional de Vialidad. Dirección Nacional de Vialidad – Edición 2008 1º Distrito Buenos Aires. Argentina.
- [33] Dirección Nacional de Vialidad (DNV) [1998]. Pliego de Especificaciones Técnicas Generales. Argentina.
- [34] Transportation Research Board [2006]. Asphalt Emulsión Technology. Transportation Research Board of the national academies, characteristic of bituminous material committe. Number E-C102, pp. 1-58. United states.
- [35] International Geosynthetic Society (IGS).
<http://geosyntheticssociety.org/>

- [36] Holtz, Robert D.; et al, [1998]. Geosynthetic. Design and Construction Guidelines. Federal Highway Administration FHWA HI-95-038. DTFH61-93-C-00120. 460 p.
- [37] Jayawickrama P. W.; Lytton R. L. [1987]. Methodology for Predicting Asphalt Concrete Overlay Life Against Reflective Cracking Proceedings of the 6th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, Michigan, Vol. 1, pp. 912-924.
- [38] Khodaii A.; Fallah S.; FM Nejad [2009]. Effects of geosynthetics on reduction of reflection cracking in asphalt overlays. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 27, pp. 1-8.
- [39] Zamora-Barraza D.; et al, [2010]. New procedure for measuring adherence between a geosynthetic material and a bituminous mixture. Geotextiles and Geomembranes.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2009.12.010>
- [40] Montestruque Vilchez G. [1996]. Estudos de sistemas anti-reflexão de trincas na restauração de pavimentos asfálticos. Tese Mestrado em Ciências de InfraEstrutura de Transporte – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. Brasil.
- [41] Perkins Steven W.; et al, [2010]. Geosynthetic in pavement reinforcement application. 9th International Conference on Geosynthetic. Brasil.

- [42] Dal Farra, Alberto; Rodríguez, Carlos [1995]. Geotextiles en repavimentación asfáltica, balance y perspectivas actuales de su aplicación en la republica argentina. CORIPA S.A. pp. 1-19.
- [43] Ramos Celso R. [2009]. Estudo e emprego de grelha polimérica anti-reflexão de trincas em pavimentos flexíveis. XV Congresso Ibero-americano del asfalto. Lisboa, Portugal.
- [44] Norma IRAM (2001). IRAM 78012. Ensayo de tracción con probetas anchas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). Primera edición 20-4-2001.
- [45] Koerner R. M. (2005). Designing with Geosynthetics. Fifth edition. p. 796 New Jersey. Pearson Prentice Hall. p. 280-281. ISBN 0-13-145415-3.