

Adherencia entre capas de pavimentos, interponiendo Geosintéticos

Pensando en la interposición de los materiales geosintéticos entre las capas de un pavimento, los principales factores que pueden alterar la adherencia entre las mismas son: el tipo de superficies a unir, la textura de cada superficie, el tipo de material o sistema utilizado en la interfase, el tipo de emulsión asfáltica utilizada como riego de adherencia, uniformidad y dotación en la aplicación de riegos de adherencia y el sistema constructivo. Basados en estos factores, la incorporación de un material geosintético, entre capas, altera las condiciones de monolitismo de la estructura. Por ello es importante cuantificar en qué proporción estos materiales ayudan o afectan la vida útil de un pavimento.

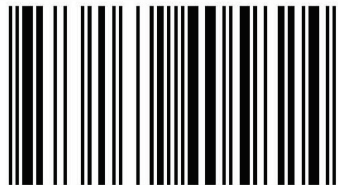


PHD en Ingeniería de materiales. Docente investigador Nacional categorizado. Profesor Adjunto Ordinario, Dedicación Exclusiva. Director de tesis de Grado y Posgrado. Director de proyectos I+D. Director del Curso posgrado Geosintéticos. Co-Director de carrera Maestría VialIngeniero Civil en LEMaC (Centro de investigaciones viales), UTN-FRLP.

Hector Luis Delbono

Adherencia entre capas de pavimentos, interponiendo Geosintéticos

Estudio de la adherencia entre diferentes sustratos (hormigón-asfalto) interponiendo distintos materiales geosintéticos



978-613-9-40582-4

editorial académica española

Hector Luis Delbono

**Adherencia entre capas de pavimentos, interponiendo
Geosintéticos**

Hector Luis Delbono

**Adherencia entre capas de
pavimentos, interponiendo
Geosintéticos**

**Estudio de la adherencia entre diferentes sustratos
(hormigón-asfalto) interponiendo distintos
materiales geosintéticos**

Editorial Académica Española

Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:

Editorial Académica Española

is a trademark of

International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page

ISBN: 978-613-9-40582-4

Copyright © Hector Luis Delbono

Copyright © 2019 International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

ESTUDIO DE LA ADHERENCIA ENTRE CAPA DE PAVIMENTOS, INTERPONIENDO GEOSINTÉTICOS

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
I.1 Antecedentes.....	3
I.2 Adherencia entre capas de un pavimento.....	4
I.2.1 Importancia y consecuencias.....	4
I.2.2 Adherencia en la interfase de un sistema compuesto.....	7
I.2.3 Fallas por adherencia sobre la capa asfáltica.....	10
I.2.3.1 Falla por corrimiento.....	10
I.2.3.2 Falla tipo media luna o en arco.....	11
I.2.3.3 Falla tipo corrugación.....	12
I.3 Materiales geosintéticos.....	13
I.3.1 Función del geosintético.....	13
I.3.2 Experiencia con geosintético.....	14
I.3.3 Consideraciones particulares de estudio.....	16
II. MATERIALES; DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	17
II.1 Mezcla asfáltica para sustrato y refuerzo.....	17
II.1.1 Caracterización de la mezcla asfáltica.....	18
II.2 Emulsión asfáltica.....	23
II.3 Materiales geosintéticos.....	24
II.3.1 Propiedades de los materiales.....	25
II.4 Sustrato de hormigón.....	26
III. METODOLOGIA.....	26
III.1 Confección de probetas.....	27
III.2 Secuencia de moldeo.....	28
III.2.1 Moldeo de probetas de referencia.....	28
III.2.2 Moldeo de probetas sobre sustrato de hormigón.....	29
IV. RESULTADOS.....	34
IV.1 Análisis de la interfase.....	34
IV.1.2 Observación con lupa.....	34
IV.2 Adherencia entre capas.....	35
IV.3 Consideraciones.....	39
V. CONCLUSIONES.....	40
VI. REFERENCIAS.....	42

I. INTRODUCCIÓN

La inversión en construcción y mantenimiento de caminos es una herramienta importante en el crecimiento económico. Un dólar invertido en tiempo y forma en el mantenimiento preventivo, redundara en varios dólares ahorrados en una reconstrucción técnica y económicamente dificultosa.

Es indudable que 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 [1] [DAVIES ROBERT M.; SORENSOM JIM 2000]. 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.

Los pavimentos basan su comportamiento en la capacidad de deformación ante la sollicitación de las cargas del tránsito y las cargas térmicas [2] [CORDO OSCAR, 1994]. Para absorber tales cargas los pavimentos se constituyen en varias capas, las cuales poseen propiedades resistentes diferentes, disminuyendo su calidad a medida que aumenta la profundidad dentro del paquete estructural.

La adherencia es una de las fallas más comunes en los pavimentos, que poco se tiene en cuenta a la hora de diseñar el paquete estructural del camino ni cuando se adoptan tecnologías para prevenir un deterioro prematuro, como por ejemplo cuando se adoptan sistemas anti reflejo de fisuras, que consisten en una capa o material que se introduce para retardar la propagación de fisuras pre existentes en capas inferiores o en coincidencia con movimiento de juntas de un pavimento envejecido, hacia la nueva capa colocada como refuerzo. [3] [DELBONO LUIS, 2014]

1.1 Antecedentes

La adherencia entre capas asfálticas ha sido ampliamente estudiada [4] [RAAB C., 2004]; [5] [TOSTISCARELLI J., 2004]; [6] [ALVAREZ CALISTO, 2007]; [7] [RICCI et al., 2007]; [8] [FERNANDEZ COBO M., SOTO SANCHEZ J. A. 2008]; [9] [ZAMORA BARRAZA D. et al., 2010] entre otros de conocidos renombres dentro del ámbito vial, buscando analizar el comportamiento de diferentes tipos de riegos de adherencia.

Existen pocos trabajos que analizan el efecto de la adherencia entre capas con la inclusión de materiales geosintéticos entre ellas. En esta línea solo los Geotextiles No Tejidos y entre capas asfálticas han sido los considerados [10] [RICCI L., 2011]; abocándose a determinar el contenido óptimo de ligante a colocar.

En el 2014, se realizaron varios ensayos de adherencia entre capas sobre diferentes sustratos encontrando variables que deben ser consideradas cuando se emplean diferentes materiales en la interfase como ser el tipo de emulsión asfáltica, convencional o modificada, el tipo de composición y estructura de los materiales geosintéticos y las consecuencias de ser sometidos a la instalación, colocación y compactación de una capa asfáltica a temperaturas que sobrepasan los 140 °C.

No hay acuerdo entre los distintos investigadores en cuál de todos los modelos disponibles resulta conveniente utilizar para evaluar efectivamente la adherencia entre capas, ni los límites tolerables que consideren una buena o mala adherencia.

Esta publicación presenta la problemática de la adherencia entre capas cuando se utilizan diferentes materiales geosintéticos en la interfase entre una capa de rodamiento asfáltica y un sustrato asfáltico y/o un sustrato de hormigón.

Para desarrollar el estudio de la adherencia al interponer un material geosintético entre dos capas de diferentes características, se utilizan dos métodos de ensayo: el ensayo de corte por flexión LCB, desarrollado por el Laboratorio de Caminos de Barcelona de la Universidad de Cataluña, España, y el ensayo a tracción directa desarrollado en el LEMaC utilizando la máquina de tracción EMIC DL 10000. Estos ensayos son implementados en el Centro de Investigaciones Viales (LEMaC) de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata.

1.2 ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE UN PAVIMENTO

1.2.1 Importancia y consecuencias

En un sistema multicapas como el del pavimento, los movimientos relativos entre las capas componentes son un origen importante de fisuras, Figura 1. Cuando la adherencia

entre capas es escasa, la carpeta de rodamiento suele fisurarse de manera temprana ante las solicitaciones del tránsito debido al consumo de energía interna del material [11] [LAERTE MARONI G., 1993]. Esta falta de vínculo se traduce en una mala o nula distribución de tensiones en el espesor total del pavimento.

[12] [PONNIAH et al., 2006] explica que es conveniente asegurar una buena unión entre capas para que toda la estructura del pavimento actúe como una capa monolítica, para proporcionar el comportamiento esperado. [13] [LENG et al., 2008] apoya esta posición e indica que el vínculo entre una capa de HMA (Hot Mix Asphalt) sobre un pavimento de hormigón es uno de los factores más importantes que pueden alterar la vida útil del pavimento.

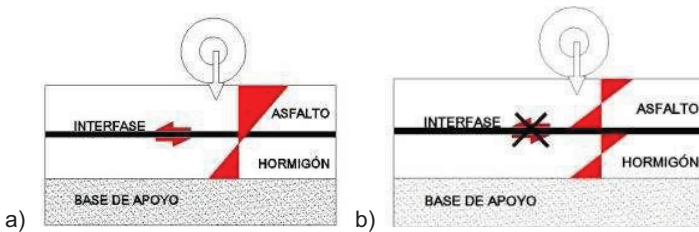


Figura 1. Distribución de tensiones en un pavimento; a) bien adherido, b) sin adherir

Fuente: [3] DELBONO 2014

El concepto de sistema multicapa, sometido a una solicitación de flexión, puede asimilarse al de una viga multilaminada [10] [RICCI L., 2011], donde su resistencia se incrementa en función de su altura, considerando una adherencia total entre sus partes componentes.

Una viga formada por varias capas de espesor delgado, colocadas simplemente apoyadas unas sobre otras, será menos resistente que una viga monolítica de igual altura total. Esto puede demostrarse con la teoría de flexión que dice que la tensión debida a flexión en cualquier sección es directamente proporcional al momento flector (M) e inversamente proporcional al módulo de resistencia de la sección (W).

Para elementos de sección rectangular, como puede considerarse la estructura de un pavimento, el módulo resistente es directamente proporcional al cuadrado de su altura, con lo cual se evidencia la importancia de poseer espesores de capa considerables y netamente adheridos entre sí.

La tensión o esfuerzo debido a la flexión en secciones rectangulares de materiales homogéneos está dada por la expresión:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{M}{\frac{bh^2}{6}}$$

En una viga sometida a flexión simple, los esfuerzos que se generan en una sección de la misma se ven representados en la Figura 2. En esta se aprecia que la mitad superior de la sección está sometida a esfuerzos de compresión mientras que la semi parte inferior lo está a tracción. Por la condición de equilibrio de fuerzas en el eje X en toda la sección, las fuerzas de compresión quedan equilibradas con las de tracción.

Analizando, por ejemplo, la sección delimitada por abcd, el esfuerzo de compresión resultante solo puede ser equilibrada por un esfuerzo cortante y de sentido opuesto a la compresión desarrollada en el plano dce. Este esfuerzo cortante se ve materializado por la adherencia en los sistemas multicapas; es allí donde reside la importancia de su estudio.

De esta manera queda demostrado que ante sollicitaciones de flexión la adherencia entre las partes componentes de un paquete estructural es de suma importancia.

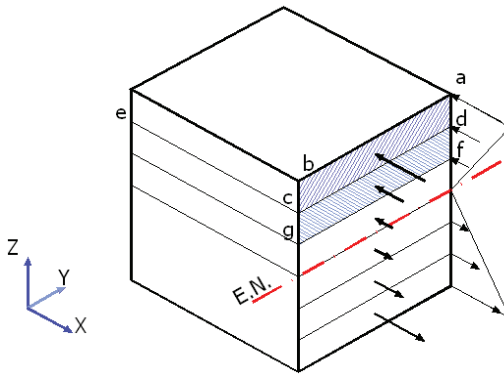


Figura 2 Esfuerzos de tracción y compresión en viga sometida a flexión

Fuente [10] [RICCI L., 2011]

Asimismo, como la fuerza de compresión total aumenta hasta el eje neutro, es allí donde se requiere una adherencia de mayor importancia para contrarrestar su efecto. Esto también fue demostrado por [14] [SINGER L. y PYTEL A., 2004].

En esta línea de análisis, [15] [DARTER M. et al., 1994] modelaron pavimentos a través de programas de elementos finitos en 3D, siendo unánimes en afirmar que al aumentar la capacidad portante del sistema de apoyo, el máximo aprovechamiento ocurre cuando las capas trabajan monolíticamente.

1.2.2 Adherencia en la interfase de un sistema compuesto

Puede definirse la interfase como una superficie a través de la cual se produce una discontinuidad en uno o más parámetros de los materiales o las propiedades, como densidad, módulo de elasticidad, resistencia, coeficiente de expansión térmica, resistencia a la fractura, etc. [16] [ALVAREZ BLANCO F., 2005].

La norma IRAM 45001 de Argentina [17] [IRAM 45001, 1998] define interfase para una junta adhesiva como la región de medidas finitas que se extiende desde un punto en el adherendo (cuerpo unido a otro por un adhesivo) donde las propiedades puntuales (químicas, físicas, mecánicas, etc.) comienzan a diferenciarse de las propiedades globales, a través de la interfase y dentro del adhesivo hasta el punto donde las propiedades puntuales igualan las propiedades globales del adhesivo.

Las propiedades mecánicas de un material compuesto, como es el sistema que se estudia en esta publicación, dependen de las características de sus componentes y de la unión entre ambas capas, es decir de la interfase. Esto es importante por las siguientes razones:

- Mantiene el material geosintético, que se introduce en la interfase entre capas, unido y alineado en la dirección que deben trabajar las fibras.
- Actúa como el medio a través del cual se transmite y se distribuye a las fibras, que conforman la estructura del material geosintético, el esfuerzo aplicado externamente, siempre que exista buena adherencia.

La adherencia puede ser pensada, a nivel microscópico, como el efecto aglutinador de distintos materiales en la transformación de éstos en un material diferente [18] [DA SILVA PEREIRA D., 2003], con propiedades distintas de los materiales que le dieron origen.

Según [19] [FUSCO F. B., 1995], la adherencia puede ser considerada como:

- Adherencia mecánica, Figura 3.a: la adherencia surge en caso de utilizar pasadores de transferencia de carga en las juntas de los pavimentos de hormigón. Este tipo de unión es poco efectiva para esfuerzos de tracción pero efectiva para esfuerzos cortantes.
- Adherencia por adhesión, Figura 3.b: este tipo de unión se da cuando una de las superficies tiene carga positiva y la otra negativa. Esto conduce a una atracción electrostática entre los componentes del material compuesto que depende de la diferencia entre las cargas de las superficies.

La contaminación superficial y los gases atrapados disminuyen la adherencia.

Según [20] [SHAH P. y AHMAD S., 1994] la adherencia física involucra las fuerzas de van der Waals y reacciones químicas entre las diferentes fases de la emulsión con los materiales.

- Unión química Figura 3.c: se genera cuando la superficie del geosintético tiene grupos químicos compatibles con grupos químicos de la matriz.

Hay dos tipos principales de unión química:

- Unión por disolución: las interacciones son de corto rango. Cualquier contaminación de la superficie de las fibras, aire atrapado, burbujas de gas en la interfase, etc. dificultan el contacto necesario entre los materiales.

- Unión de reacción: se produce por el transporte de moléculas de uno o ambos componentes en la interfase. Cuando se trata de dos superficies poliméricas, se pueden formar enlaces moleculares enredados o entrelazados en la interfase.

- Unión mediante inter difusión [21] [MADRID M., 1999], Figura 3.d: en este tipo de unión la superficie del refuerzo y de la matriz tienen cadenas poliméricas que se difunden entre ellas. La fuerza de esta unión dependerá del grado de entrelazado molecular y del número de moléculas implicadas.

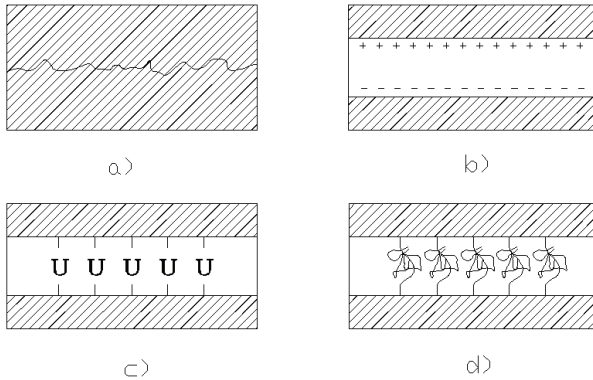


Figura 3 Diferentes tipos de uniones en la interfase

La adherencia entre el sustrato de hormigón y el refuerzo asfáltico, que conforman la rehabilitación de un pavimento por ejemplo, es un punto de vital importancia por lo cual el material de refuerzo colocado (geosintético) debe proveer tal unión, y así cumplir con eficacia su función. Para esto se debe tener en cuenta:

- El coeficiente de dilatación entre el material de refuerzo asfáltico y la capa base (sustrato de hormigón o sustrato asfáltico) deben ser compatibles. Las diferencias entre coeficientes de dilatación producen tensiones de corte entre las capas causadas por los movimientos de expansión y contracción.
- El material geosintético debe absorber las tensiones de tracción trabajando en cooperación con las capas; esto es posible si se encuentra bien anclado, pues solo debe trabajar por debajo de la tensión límite de adherencia y aportar la resistencia si hubiese estímulo a la deformación.
- A fin de permitir que se establezca una cooperación entre ambos materiales, el módulo de elasticidad debe ser compatible. Tanto el geosintético como las demás capas deben absorber los esfuerzos.

- Al introducir un refuerzo rígido en la interfase, la mayoría de las tensiones son absorbidas directamente por el refuerzo, para posteriormente transferirse a la base en función de la adherencia e inter trabado. Por otro lado un material muy deformable no tiene la resistencia suficiente para absorber tensiones en la estructura.

La fuerza de adherencia en los sistemas que se presentan más adelante, viene regida por la capacidad de la emulsión (porcentaje de residuo, dureza del betún y el tipo de polímero) para ligar los materiales.

1.2.3 Fallas por adherencia sobre la capa asfáltica

A través de la bibliografía consultada [22] [DNIT, 2006]; [23] [ROBERTO J. y SALGUERO A., 2004]; [24] [CDCII, 2002]; [25] [RODRIGUEZ R. et al., 1998], se pudo constatar que la falla por adherencia en pavimentos no es considerada de la manera correcta en cuanto a la problemática que ésta representa, sino que se toma como defectos superficiales (corrimientos o shoving) que deben ser restaurados oportunamente.

1.2.3.1 Falla por corrimiento

Las fallas por adherencia, denominadas “shoving” o corrimientos [26] [BELLINGER Y. W., MILLER J. S., 2003] son desplazamientos longitudinales localizados en áreas de la superficie del pavimento, generalmente causados por el frenado brusco de los vehículos o las aceleraciones repentinas que suelen darse en pendientes, curvas o intersecciones, Figura 4.

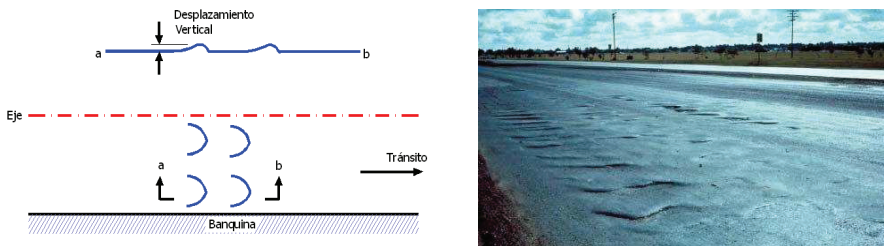


Figura 4 Falla por corrimiento sobre la capa de rodamiento

Se define al término corrimiento o “shoving” como distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañados por levantamientos de material formando “cordones”, laterales, o bien por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje del camino [27] [ITURBIDE J. C., 2000], Figura 5.

Típicamente puede identificarse a través de la señalización horizontal del pavimento, observando demarcación desalineada de los carriles, por efecto de corrimiento. Una de las principales causas es la inadecuada ejecución del riego de liga, dando como resultado la escasa adherencia entre la capa asfáltica de rodadura y su capa subyacente.

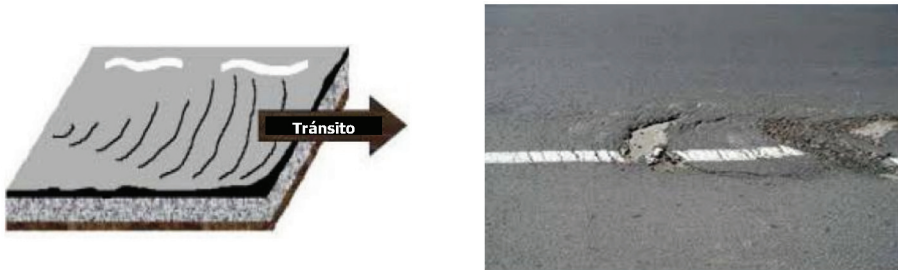


Figura 5 Falla del tipo “shoving” o corrimiento

1.2.3.2 Falla tipo media luna o en arco

El corrimiento puede venir acompañado de otro tipo de falla identificada como Fisuras en Arco, Figura 6, la cual se debe a una deficiencia de la adherencia entre las capas del pavimento.

UZAN et al., (1978) citado por [10] [RICCI L., 2011] señala que las grietas en forma de arco pueden desarrollarse bajo las cargas verticales y horizontales en los puntos donde la adherencia es débil debido a una mala construcción.



Figura 6 Falla del tipo fisuras en arco o media luna

II.2.3.3 Falla tipo corrugación

También se puede presentar la falla por corrugación; ésta consiste en una serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menor de 1,0 m entre ellas, a lo largo del pavimento, Figura 7.



Figura 7 Falla del tipo corrugación

Estas fallas se asocian con los problemas de adherencia de la capa intermedia [28] [KENNEDY y LISTER, 1980]; [29] [PEATTIE, 1980].

Otros autores [30] [LIVNEH y SCHLARSKY, 1962]; [31] [SETRA, 1986], [32] [LEPERT et al., 1992]; [33] [HACHIYA y SATO, 1997]; [34] [AL HAKIM et al., 2000]; [35] [SANGIORGI et al., 2003]; [36] [ROMANOSCHI y METCALF, 2003]; y [37] [CANESTRARI et al., 2005] indican que la pérdida de adherencia en la interfase da lugar al deterioro del pavimento.

Cuanto se trata de la adherencia entre capas asfálticas, [38] [DRAGOMIR MIHAI, PETIT CHRISPOTE 2011] indican que de no estar bien ligadas las capas, la vida de la estructura se reduce en un 90%.

[39] [AMERI-GAZNON y LITTLE 1990] declara que la unión de la interfase es el factor más importante que afecta la distribución del esfuerzo cortante dentro de una capa de asfalto y, además, que la pérdida de unión permite el desarrollo de resistencia a la tracción horizontal en la interfaz del pavimento asfáltico y de la base, lo que aumenta los esfuerzos cortantes en la capa de la superficie; esto conduce a mayor posibilidad de ahuellamiento.

I.3 MATERIALES GEOSINTÉTICOS

Los materiales geosintéticos son productos formados mediante tecnología textil y plástica, a través del diseño industrial de equipos que permiten conformar materiales de diferente conformación estructural. El término genérico geo-sintético designa un producto en el que, por lo menos, uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de fieltro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

Para definir con exactitud que es un material geosintético es conveniente recurrir a las fuentes del conocimiento técnico. "International Geosynthetic Society" (IGS) [40] 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".

I.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 [41]. Se determina cuál es la función más importante que debe cumplir y sobre esta base se diseña.

1.3.2 Experiencia con geosintéticos

Numerosas investigaciones han sido desarrolladas considerando la intervención de los geosintéticos como sistemas anti-reflejo de fisuras. [42] [JAYAWICKRAMA y LYTTON, 1987]; [43] [LYTTON R. L., 1989]; [44] [KIM J., BUTLLAR W. G, 2002]; [45] [VIRGILI et al., 2009]; [46] [KHODAII et al., 2009]; [47] [BAEK et al., 2010]; [48] [ZAMORA-BARRAZA et al., 2010], 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.

Los materiales geosintéticos no son introducidos entre las capas de un pavimento para generar mayor adherencia, sino para evitar o reducir el fenómeno de fisuración refleja; fenómeno que se da en la rehabilitación de un pavimento, donde una fisura existente en el pavimento deteriorado se propaga a la nueva capa colocada como refuerzo, por efecto de la carga del tránsito y el clima. Esta situación permite el ingreso de agua de lluvia a las capas subyacentes haciendo que el deterioro se evidencie a corto plazo, alcanzando rápidamente la capa de refuerzo el nivel de deterioro que se pretendía restaurar, Figura 8.

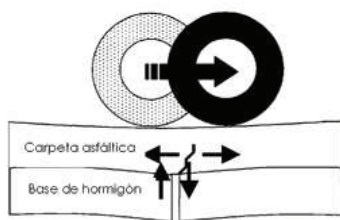


Figura 8. Mecanismo de fisuración de un pavimento

Pensando en la interposición de los materiales geosintéticos entre las capas de un pavimento, los principales factores que pueden alterar la adherencia entre las mismas son: el tipo de superficies a unir, la textura de cada superficie, el tipo de material o sistema

utilizado en la interfase, el tipo de emulsión asfáltica utilizada como riego de adherencia, uniformidad y dotación en la aplicación de riegos de adherencia y el sistema constructivo.

Basados en estos factores, la incorporación de un material geosintético, entre capas, altera las condiciones de monolitismo de la estructura. Por ello es importante cuantificar en qué proporción estos materiales ayudan o afectan la vida útil de un pavimento.

Hace tiempo que se vienen utilizando los materiales geosintéticos en tareas de pavimentación de obra nueva y repavimentación asfáltica, Figura 9. Dentro de estos materiales utilizados como retardadores de la fisuración refleja, se pueden reconocer a los geotextiles embebidos en asfalto, los cuales cumplen adicionalmente la función como barrera impermeable de la humedad; y las geogrillas o geomallas empleadas como refuerzo al ser utilizadas entre capas.

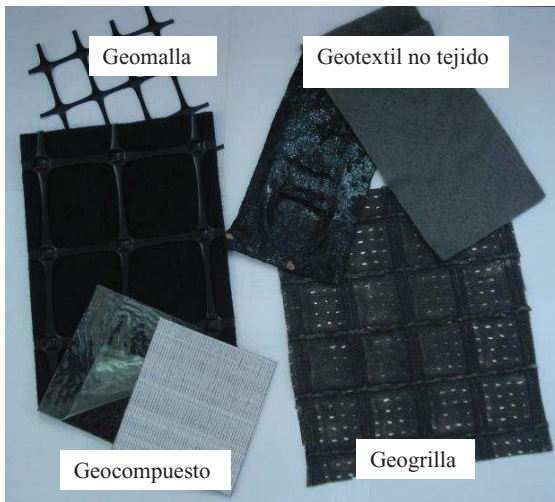


Figura 9. Productos geosintéticos utilizados como sistemas anti-reflejo de fisuras

Actualmente nuevos geosintéticos se han desarrollado en busca de mejorar las propiedades deseadas en cuanto a la adherencia y el reflejo de fisura, dentro de ellos se encuentran los geocompuestos, que combinan las propiedades de dos o más estratos con diferentes composiciones poliméricas, Figura 10. Estos materiales pueden ser utilizados sobre pavimentos rígidos en forma directa, previo riego de liga con la dotación aconsejada por el proveedor del material geosintético.

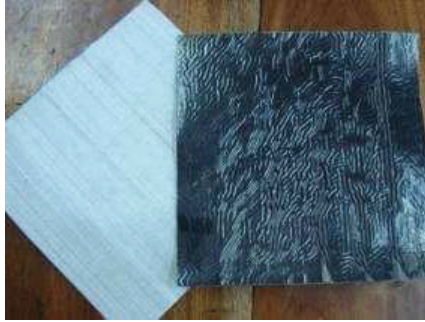


Figura 10. Nuevo material Geocompuesto, constituido por un geotextil tejido en polipropileno adosado a una membrana asfáltica con film protector

Muchas veces se ha planteado el tema de la adherencia entre capas cuando se ejecutan los refuerzos asfálticos o las pavimentaciones con sistemas multicapas. Sin embargo, poco se sabe del comportamiento de la adherencia entre diferentes capas cuando entre ellas se intercala un material geosintético.

Es por ello que al utilizar capas intermedias de membranas de refuerzo o S.A.M.I. de su sigla en inglés Stress Absorber Membrane Interlayer [49] [AI-QADI I., 2004], es importante la elección y dotación del ligante, como así también el proceso constructivo, a fin de minimizar los efectos negativos en la adherencia entre capas [4] [RAAB 2004].

En este sentido, un gran número de investigaciones han sido desarrolladas en el desempeño de mezclas asfálticas donde para el diseño de proyectos se asume que existe una adherencia perfecta entre capas siendo que la experiencia en campo no es así según las valoraciones realizadas en campo y laboratorio por [3] [DELBONO 2014].

1.3.3 Consideraciones particulares de estudio

La medida de las fuerzas de atracción en una interfase sólido-sólido es difícil de determinar. En vista de lo cual se desarrollan técnicas de medida de la adherencia a través de la determinación de valores de resistencia a la tracción y al corte de la unión. Estos métodos son adecuados desde el punto de vista ingenieril porque proveen información sobre el comportamiento del sistema aunque químicamente no representen una medida directa de la fuerza de atracción entre superficies.

Al colocar un material geosintético entre capas que conforman un pavimento, conjeturamos que se genera una discontinuidad que puede favorecer o perjudicar la adherencia que se pretende alcanzar, según el tipo de material seleccionado y su forma de aplicación.

Generalmente se utilizan emulsiones asfálticas (convencionales o modificadas) de secado rápido para ligar las capas de un pavimento, por lo que resulta importante tener presente la humedad de la capa existente, lo que puede perjudicar la adherencia con el material geosintético y la capa de refuerzo.

Otro efecto fundamental es la temperatura de la mezcla asfáltica cuando se la coloca y compacta (usualmente entre 140 °C y 160 °C) sobre materiales a partir de fibras poliméricas. Esta variable juega un rol esencial en ciertos tipos de geosintéticos según el polímero utilizado en su producción ya que puede modificar sus propiedades y estructura; ello, por lo tanto, puede alterar la adherencia del sistema.

II. MATERIALES; DESARROLLO EXPERIMENTAL

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

II.1 Mezcla asfáltica de sustrato y refuerzo

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 D19 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, Provincia de Buenos Aires, Argentina 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 realizó un control estadístico de la mezcla de manera de considerarla como constante para todo el trabajo.

II.1.1 Caracterización de la mezcla asfáltica

La mezcla seleccionada se caracterizó 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 [50]; 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 [51].

Tabla 1. Resultados y exigencias para un Concreto
Asfáltico Convencional CAC D19

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 termostataizado 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 realizó la recuperación del asfalto, estipulada en el procedimiento VN – E69 – 78 Determinación del Contenido de Asfalto en Mezclas en caliente por el Método de Centrifuga de finos, determinándose el porcentaje de cemento asfáltico [52], Figura 17 y

Figura 18. Con los agregados recuperados, Figura 19, se establece la curva granulométrica de la estructura granular, Figura 20.

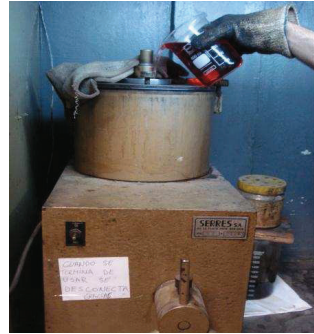


Figura 17. Determinación del contenido de asfalto por centrifuga



Figura 18. recuperación de finos mediante centrifuga de vasos



a)



b)

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 D19

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/Fuien	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	

Densidad Marshall Promedio (g/cm³) = Dm

2,347

Vacios Promedio (%) = Vm

3,5

Vacios agregado mineral (VAM) (%)

15,0

Relación Betun / Vacío (%)

76,9

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	

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 D19, Figura 20.

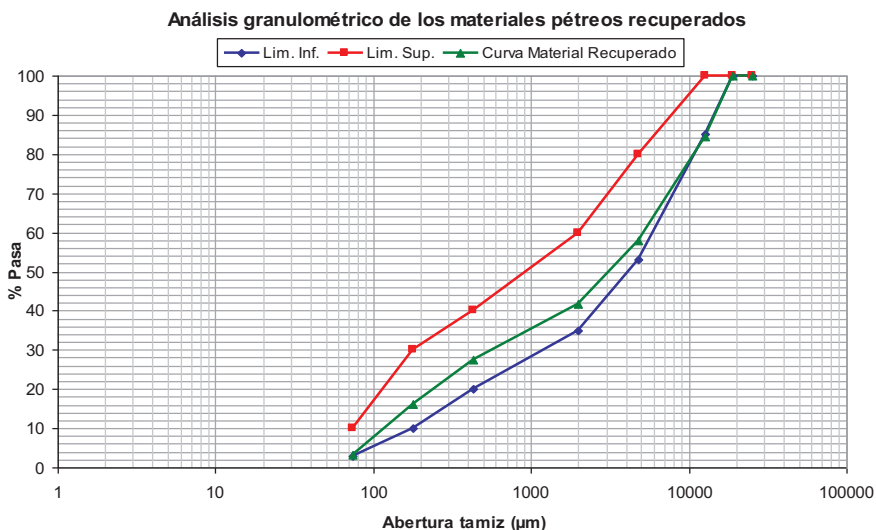


Figura 20. Curva granulométrica de los áridos recuperados

11.2 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 [53].

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 realizaron 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

II.3 Materiales geosintéticos

Los materiales seleccionados para estudiar el fenómeno de propagación de fisuras y la adherencia en la interfase del sistema, fueron proporcionados a partir de varios convenios firmados con importantes empresas.

Se importó material a base de fibras en poliéster (PET), ampliamente utilizado en la repavimentación, el material tienen adosado un geotextil no tejido en polipropileno. El material es cubierto completamente con un recubrimiento bituminoso. Se denomina a este material como HSK PET.

El material Geotextil No Tejido confeccionado con fibras en poliéster de 150 g/m², el cual es embebido en emulsión asfáltica modificada con polímero SBS; el mismo constituye uno de los sistemas más utilizados en la problemática de la fisuración refleja en nuestro país. A este material se lo denomina como GNT PET 150 g.

Se desarrolló y caracterizó un nuevo material, compuesto por capas de un Geotextil Tejido en polipropileno adosado a una membrana asfáltica. Este material fue realizado en varios espesores, conformado por una o dos capas de geotextil tejido en polipropileno con una o dos capas de membrana asfáltica, buscando prevenir la problemática del reflejo de fisura y la adherencia entre capas. A este material se lo denomina FM PP.

Los materiales fueron caracterizados siguiendo la normativa IRAM de Argentina y se realizan ensayos de acuerdo a la circunstancia de obra que estos materiales deben afrontar cuando se los coloca entre capas de un pavimento.

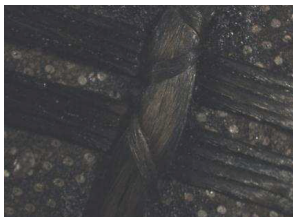
Se busca en este material combinar las propiedades de una malla de alta resistencia con la ventaja de impermeabilización que brinda una membrana asfáltica

La Figura 21 muestra la estructura de los materiales geosintéticos.



FM PP

Geocompuesto conformado por un geotextil tejido en polipropileno adosado a una membrana asfáltica



HSK PET

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



GNT PET 150 g

Geotextil No Tejido compuesto por fibras en poliéster orientadas en forma aleatoria

Figura 21 Materiales geosintéticos

II.3.1 Propiedades de los materiales

La Tabla 4 presenta algunas características físicas de los materiales descritos anteriormente, mientras que la Tabla 5 presenta la resistencia a tracción máxima alcanzada, medida en KN/m como se especifica en la cartilla de estos materiales, y la deformación máxima medida en milímetros, obtenida para la resistencia máxima.

Tabla 4 Propiedades de los materiales geosintéticos

MATERIAL	Masa (g/m ²)	Espesor (mm)
FM PP	1795	1,72
HSK PET	332	1,50
GNT PET 150 g	152	0,87

Tabla 5 Ensayo a tracción de los materiales geosintéticos

Material	Sentido paralelo al rollo		Sentido perpendicular al rollo	
	σ_f (kN/m)	Deformación a carga máxima (mm)	σ_f (kN/m)	Deformación a carga máxima (mm)
FM PP	28,04	21,04	28,31	22,11
HSK PET	41,43	17,25	37,28	15,13
GNT PET 150 g	6,21	63,76	6,37	52,43

II.4 Sustrato de Hormigón

El hormigón de base de los sistemas fue dosificado ad-hoc, el cual respeta la fórmula presentada en la Tabla 6.

Tabla 6 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

III. METODOLOGÍA

A raíz de la problemática planteada, el objetivo de esta publicación se basa en valorar la adherencia en la interfase de distintos sustratos, Figura 22, interponiendo los diferentes materiales geosintéticos, descritos en la Figura 21, utilizando como agente de adhesión una emulsión asfáltica modificada de rotura rápida de comercialización nacional,

caracterizada en la Tabla 3, bajo dos condiciones de ensayo, a corte y tracción de la unión, los cuales se presentan seguidamente en el ítem III.2.

Los sistemas fueron comparados con el sistema de referencia, el cual se compone por un sustrato de hormigón o asfáltico, regado con emulsión asfáltica modificada y una capa de mezcla asfáltica de refuerzo, con lo cual se puede determinar un factor de eficiencia entre los sistemas que poseen material geosintético y los sistemas de referencia.



Figura 22 Conformado de probetas (sistema) de diferente sustrato;

a) base de hormigón, b) base asfáltica, c) juego de probetas

III.1 Confección de probetas

Se confeccionaron un mínimo de tres probetas de ensayo por cada uno de los sistemas. Las probetas poseen dimensiones similares a las probetas Marshall (101,6 mm de diámetro) pero con el doble de su altura, y están constituidas por:

En el caso de las probetas sin material geosintético, Sistema 1 al que se denomina "Referencia": una capa de hormigón elaborado ad-hoc de 5 cm de espesor, un riego de $0,90 \text{ l/m}^2$ de dotación, y la capa de mezcla asfáltica en caliente tipo CAC D19, Figura 23.

Las probetas con material geosintético: una base del hormigón elaborado ad-hoc de 5 cm de espesor, un riego de $0,9 \text{ l/m}^2$ de dotación, el material geosintético, un segundo riego solo para el material FM PP donde la dotación aconsejada es de $0,25 \text{ l/m}^2$, y para el material GNT PET 150 g, donde la dotación aconsejada es de $0,5 \text{ l/m}^2$, según la conformación de los materiales, y la capa de mezcla asfáltica en caliente tipo CAC D19, Figura 23.

Para los sistemas con base asfáltica (Sistema 2 de referencia), la conformación es la misma, variando el riego entre capas, siendo en estos casos de 0,5 l/m².

III.2 Secuencia de moldeo

Para efectuar los ensayos de adherencia mediante este método, las probetas requieren una conformación especial debido a que el método Marshall considera cierto número de golpes en ambas caras de la probeta, por lo tanto se considera la compactación en una sola cara para conformar los sistemas. Para ello se determina la energía de compactación (E_c) necesaria para asegurar la representatividad de las probetas.

La energía de compactación (E_c), analizada por varios autores, es en este caso determinada de la siguiente manera:

$$E_c = \frac{\text{Pesodelpíson}[\text{kg}] \cdot \text{Nrogolpes} \cdot \text{Altura}[\text{cm}]}{\text{Volumen}[\text{cm}^3]}$$

Esta expresión surge de los estudios de mecánica de suelos, desarrollada por Proctor R., la cual puede ser extrapolada a distintos materiales como la mezcla asfáltica.

Se confeccionaron 3 probetas patrones, compactadas con 75 golpes por cara llegando a aplicar una energía de compactación de 61,26 kg cm/cm³. Se obtuvieron así los parámetros de altura, volumen y densidad de la probeta de referencia, Tabla 7.

Con objeto de moldear y lograr, sobre la base de hormigón, los parámetros obtenidos de la probeta de referencia (altura, volumen, densidad) se moldearon probetas aplicando 120, 130 y 150 golpes, sobre la cara de mezcla asfáltica, buscando acercarse a los parámetros obtenidos para la probeta patrón. Para ello se moldeó la mezcla asfáltica a 160 °C directamente sobre el hormigón, sin riego de liga, de modo de obtener la probeta asfáltica para determinar sus parámetros.

III.2.1 Moldeo de la probeta de referencia

Se coloca en un molde Marshall, acondicionado en estufa y sobre un papel de filtro, 1200 g de mezcla asfáltica densa convencional tipo CAC D19, calentada a 160 °C. Se compacta con 75 golpes en una cara asegurándose la limpieza y temperatura del píson.

Se da vuelta la probeta y se aplican otros 75 golpes en la cara invertida. Terminada la compactación se retiran los papeles de filtro de ambas caras, se identifica la probeta y se deja enfriar para luego desmoldarla y realizar las determinaciones de densidad, volumen y altura, sobre la probeta.

III.2.2 Moldeo de la probeta sobre base de hormigón

Se confeccionan probetas cilíndricas de hormigón de 100 mm de diámetro y 150 mm de altura, luego se cortan en tres tercios para obtener de esta manera una probeta de 100 mm de diámetro y 50 mm de altura. Sobre esta probeta se coloca y compacta la mezcla asfáltica densa convencional tipo CAC D19 en caliente, según la metodología Marshall. Finalizada la compactación se procede al desmolde de la capa asfáltica compactada sobre la de hormigón y se determina su altura, volumen y densidad.

Tabla 7 Valores obtenidos luego de la compactación de las probetas

Probeta	N golpe	Densidad (g/cm ³)	Prom.	Volumen (cm ³)	Prom.	Altura (mm)	Prom.	Ec (kg cm/cm ³)
1		2,352		509,5		6,0		
2	75	2,363	2,354	503,4	508,0	5,9	5,9	61,26
3		2,348		511,1		5,9		
1		2,336		521,2		6,2		
2	120	2,301	2,314	518,8	518,5	6,1	6,2	50,72
3		2,316		515,6		6,2		
1		2,340		509		6,1		
2	130	2,335	2,339	512,8	511,6	6,1	6,1	52,02
3		2,341		513		6,0		
1		2,343		506,4		6,1		
2	150	2,340	2,341	509,1	508,5	5,9	6,0	60,54
3		2,339		510,1		6,0		

Se adopta de esta manera una compactación con 150 golpes sobre la mezcla asfáltica, logrando parámetros cercanos a la probeta de referencia.

Considerando la dotación sobre la base de hormigón de 0,9 l/m², el área de la probeta (0,00785 m²) y el porcentaje de residuo de la emulsión (65,3%), la cantidad de riego es de 10,8 g de emulsión ECRR – M.

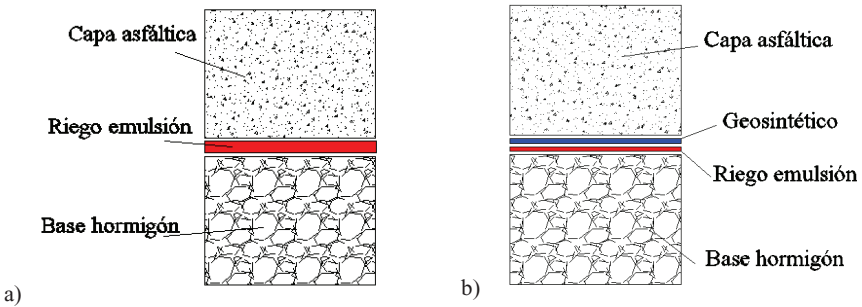


Figura 23. Esquema de probeta con sustrato de hormigón
a) referencia b) con geosintético

Para el presente trabajo se conformaron los sistemas descritos en la Tabla 8:

Tabla 8. Descripción de los sistemas confeccionados para los ensayos

Sistemas	Descripción de los sistemas
1	(Referencia hormigón): Base de hormigón + emulsión modificada + capa asfáltica.
2	(Referencia asfalto): Base asfáltica + emulsión modificada + capa asfáltica.
3	Base de hormigón + emulsión modificada + material GNT PET 150 g + emulsión modificada de impregnación+ capa asfáltica.
4	Base asfáltica + emulsión modificada + material GNT PET 150 g + emulsión modificada de impregnación + capa asfáltica.
5A	Base de hormigón + emulsión modificada + material HSK PET + capa asfáltica.
5B	Base de hormigón + emulsión modificada + material HSK PET con polipropileno sin fundir + capa asfáltica.
6	Base asfáltica + emulsión modificada + material HSK PET + capa asfáltica.
7	Base de hormigón + emulsión modificada + material FM PP + emulsión modificada + capa asfáltica.
8	Base asfáltica + emulsión modificada + material FM PP + emulsión modificada + capa asfáltica.

III.2 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.

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

dónde:

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 24 y la Figura 25 presentan el instrumental implementado para la realización del ensayo LCB.

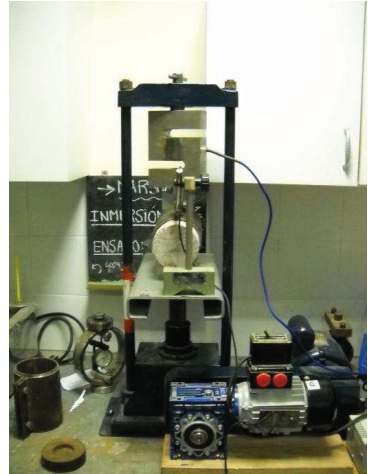
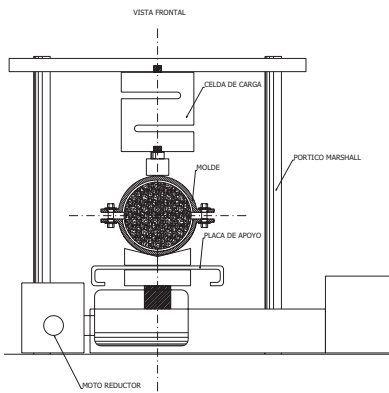


Figura 24 vista frontal de la máquina para el ensayo de corte por flexión LCB

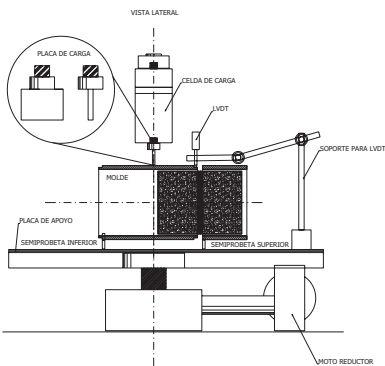


Figura 25 vista lateral de máquina para el ensayo de corte por flexión LCB

III.3 Ensayo de Adherencia por Tracción Directa

Otro de los ensayos implementados en el LEMaC es el ensayo por tracción directa, Figura 26, el mismo consiste en colocar la probeta verticalmente sujeta por una mordaza en cada extremo, generando una fuerza de tracción. Se realizó el ensayo a tracción directa ajustando la velocidad de la máquina a 1,27 mm/min al igual que la velocidad de adherencia por corte LCB. El software registra la carga y deformación de la probeta.

La temperatura del ensayo fue de 25 °C a una humedad relativa de 63 %.



Figura 26: Ensayo a tracción directa

Para ambos ensayos se confeccionaron un mínimo de tres probetas de ensayo por cada sistema.

Se determina para cada ensayo el trabajo, calculado como el área bajo la curva Carga vs. Deformación la tensión de adherencia en la interfase de los sistemas, Tabla 9.

Se determina un coeficiente de adherencia (CA_d), Tabla 9, comparando la tensión de adherencia de los sistemas con material geosintético, con la tensión de adherencia máxima obtenida entre contacto íntimo sustrato asfáltico/mezcla o sustrato de hormigón/mezcla.

Visto en fórmula matemática sería:

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

dónde:

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 de los sustratos = (kg/cm²)

IV. RESULTADOS

IV.1 Análisis de la interfase

IV.1.1. Observación con lupa

Como se mencionó, las propiedades físicas y mecánicas dependen de las propiedades de los materiales que lo constituyen; por ello, es de vital importancia tener información sobre las interacciones que se producen entre los materiales del sistema compuesto como el considerado.

La interfase es una región de tamaño desconocido y variable. Esta región es decisiva para la transferencia de carga de la matriz al refuerzo.

Se obtienen imágenes, mediante lupa Olympus a la que se le adaptó una cámara Olympus QColor 3, de la unión lograda en la interfase del sistema. Cuando se utiliza el material FM PP, este se adapta bien a la superficie observándose buena transición entre los materiales logrados por parte de la emulsión y la membrana propia del material, Figura 27. En el caso de la georilla de malla abierta, HSK PET, estas crean mayor perturbación, debido a su espesor variable, donde el agregado debe acomodarse, Figura 28.



Figura 27 Interfase hormigón + emulsión + material FM PP + emulsión + mezcla asfáltica

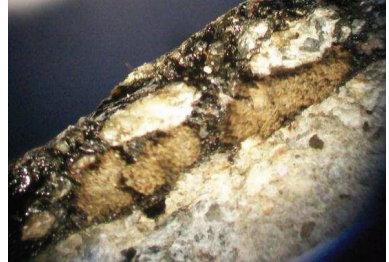


Figura 28 Interfase hormigón + emulsión + material HSK PET + mezcla asfáltica

La superficie del hormigón presenta mayor uniformidad superficial con bajo contenido de vacíos a diferencia de la mezcla asfáltica. Esos vacíos generan una discontinuidad en el contacto con el material geosintético, permitiendo el anclaje mecánico, Figura 29 y Figura 30.



Figura 29 Interfase mezcla asfáltica + emulsión + material FM PP + emulsión + mezcla asfáltica

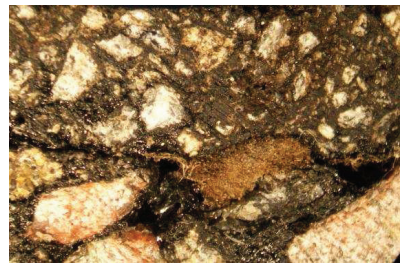


Figura 30 Interfase mezcla asfáltica + emulsión + material HSK PET + mezcla asfáltica

IV.2 Adherencia entre capas

El estado superficial del pavimento y el material geosintético utilizado son condicionantes importantes a tener en cuenta a la hora de alcanzar la adherencia esperada entre los materiales componentes del sistema.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 10 para la adherencia por corte, mientras que la Tabla 11 presenta los resultados de adherencia para los sistemas sometidos a tracción directa de la unión.

Tabla 10. Adherencia entre capas por corte

Sistemas	Carga aplicada (Kg)	Carga en la interfase (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (MPa)	Trabajo (Kgmm)
Sistema 1	381,01	190,51	0,55	0,22	156,33
Sistema 2	804,62	402,31	1,42	0,47	599,40
Sistema 3	109,75	54,88	0,52	0,06	136,42
Sistema 4	152,60	76,30	1,69	0,09	158,31
Sistema 5	443,49	221,75	0,79	0,26	306,83
Sistema 5 B	117,58	58,79	0,62	0,07	61,5
Sistema 6	554,34	277,17	0,82	0,33	383,95
Sistema 7	220,39	110,20	1,68	0,13	394,12
Sistema 8	212,39	106,19	1,50	0,12	306,10

Nota: los resultados son promedio de tres determinaciones para cada sistema

Tabla 11. Adherencia entre capas por tracción directa

Sistemas	Carga máx. (Kg)	Deformación a carga máx. (mm)	Tensión a carga máx. (MPa)	Trabajo (Kgmm)
Sistema 1	46,14	0,53	0,054	268,44
Sistema 2	433,81	2,48	0,516	986,06
Sistema 3	90,78	1,60	0,106	349,51
Sistema 4	154,20	0,98	0,181	247,06
Sistema 5	209,68	1,87	0,246	507,60
Sistema 6	234,39	1,37	0,281	342,80
Sistema 7	166,90	1,15	0,168	349,51
Sistema 8	173,20	1,61	0,203	315,11

Nota: los resultados son promedio de tres determinaciones para cada sistema

Se determina el coeficiente de adherencia, comparando la tensión de adherencia de la muestra con material geosintético, con la tensión de adherencia máxima obtenida entre los sistemas de referencia, Tabla 12.

Tabla 12. Coeficiente de Adherencia

Sistemas	CAd (por corte)	CAd (por tracción)
Sistema 1	1,00	1,00
Sistema 2	1,00	1,00
Sistema 3	0,27	1,95
Sistema 4	0,38	0,35
Sistema 5	1,18	1,85
Sistema 6	0,70	0,42
Sistema 7	0,59	3,09
Sistema 8	0,21	0,39

La Figura 31 muestra la secuencia del ensayo de adherencia por corte, la Figura 32 indica la curva carga vs deformación que arroja el software del ensayo LCB y la Figura 33 deja ver la probeta ya ensayada.



Figura 31. Ensayo LCB

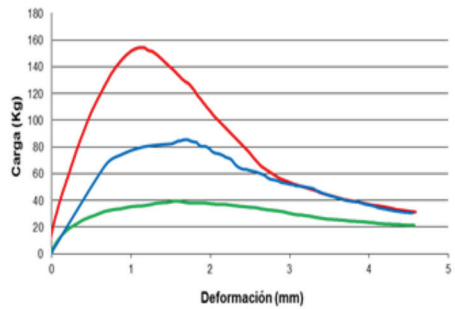


Figura 32. Gráfica Tensión – Deformación



Figura 33. Finalización del ensayo

De la misma forma la Figura 34 corresponde a la probeta es colocada en el molde para ser ensayada a tracción directa, la Figura 35 indica la curva carga vs deformación que arroja el software del ensayo LCB y la Figura 36 deja ver la probeta ya ensayada.



Figura 34. Ensayo de tracción de la unión

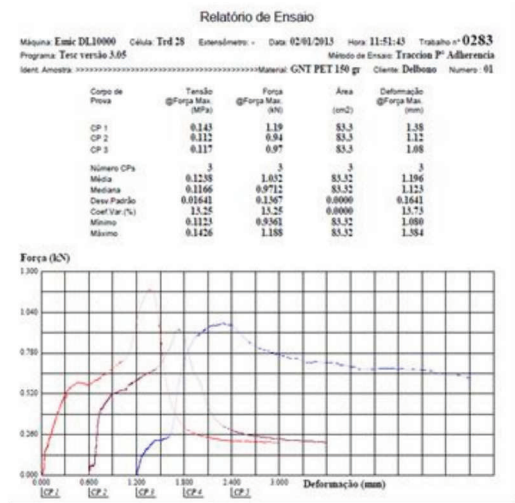


Figura 35. Gráfica de ensayo emitida por el software del equipo



Figura 36. Ensayo de probeta

IV.3 Consideraciones

- Se diseñaron en laboratorio los materiales componentes de los sistemas (mezcla asfáltica convencional tipo CAC D19, y hormigón H-21) utilizando geosintéticos con diferente estructura y de distinta composición polimérica (poliéster y polipropileno), analizando la adherencia que se logra al interponer estos tipos de materiales, ampliamente utilizados como sistemas anti-reflejo de fisuras, comparándolos con el sistema que no considera ningún material intermedio entre capas.
- Para el sistema 3 y sistema 4, con geotextil no tejido, se realizó un primer riego del 80% de la dotación total prevista para la base y saturar previamente el material geosintético, ejecutándose un segundo riego sobre el geosintético del 20% para adherir la capa superior. La dotación fue la misma que para los demás sistemas, se debe tener presente que para estos tipos de materiales, según sea su gramaje, requieren una dotación mayor para generar adicionalmente como ventaja, una barrera impermeable al agua.
- Una consideración importante a tener en cuenta cuando se interpone una geogrilla con malla de polipropileno (sistema 5) es que el material en polipropileno que posee la geogrilla, debe fundir con la temperatura de compactación de la mezcla (150°C), permitiendo el contacto entre los sustratos. El sistema 5 B representa la situación en el caso de que el polipropileno no se funda con la temperatura de la mezcla, perjudicando así la adherencia entre capas, según el resultado obtenido expresado en la Tabla 7.
- Realizando un análisis cualitativo de los resultados se puede decir, que la rotura de probetas que poseen materiales geosintéticos intercalados es del tipo dúctil, propiciando la deformación luego de la carga máxima hasta alcanzar la separación total de la probeta. Esta situación observada hace que los sistemas que consideran un material geosintético absorban mayor trabajo, determinado como el área bajo la curva carga vs. deformación.
- Dependiendo del tipo de pavimento a rehabilitar (sustrato de hormigón o sustrato asfáltico), la influencia de la adherencia se ve favorecida o perjudicada. Si lo que

se busca es obtener el trabajo monolítico de la estructura, es imprescindible realizar las tareas necesarias para obtener el mejor beneficio sea cual fuere el sistema adoptado. La incorporación de los materiales geosintéticos se realiza con los fines de prevenir la fisuración refleja, siendo la adherencia un fenómeno no considerado debidamente en la bibliografía especializada.

V. CONCLUSIONES

- Se concluye para el ensayo de adherencia por corte que la geogrilla brinda mayor beneficio al permitir su estructura abierta el contacto íntimo entre capas, tomando mayor carga con menor deformación debido a que el agregado se acomoda entre las estructura del material geosintético. Siempre que el polipropileno que tiene de base se funda con la temperatura de colocación y compactación de la mezcla asfáltica.
- Los materiales que recubren toda la superficie (material FM PP y el material GNT PET 150 g) han reducido en todos los casos la adherencia por corte entre capas comparativamente con el sistema de referencia, el geosintético genera un plano de deslizamiento en la interfase de los materiales, Figura 27.
- En ambos ensayos, en el caso donde el material geosintético se coloca entre capas asfáltica, independientemente de su composición química y conformación estructural, la adherencia se redujo comparativamente con el sistema de referencia.
- Para el caso de los sistemas de referencia, se evidencia que la adherencia alcanzada por el sistema 2, base asfáltica-capa asfáltica, es un 47% superior a la alcanzada por el sistema 1, base de hormigón-capa asfáltica, esto se debe a la afinidad entre los materiales.
- Se concluye a través del coeficiente de adherencia determinado, Tabla 9, en el caso de los sistemas ejecutados sobre una base de hormigón, que para el ensayo por corte solo el sistema 5 fue el que proporcionó un beneficio, mientras que en el caso del ensayo por tracción en la interfase, los sistemas 3,5 y 7 fueron los que brindaron una ventaja comparativamente con el sistema de referencia.

- Es difícil definir límites en los ensayos de una buena o mala adherencia. Ello dependerá del sistema adoptado y podrá establecerse su aceptación y/o rechazo realizando los ensayos y verificando los resultados logrados con el sistema de referencia que se establezca en cada proyecto.

Es importante tanto en laboratorio como en obra, el lograr la mejor adherencia entre capas, atender a las condiciones del sustrato; por ejemplo si se ha realizado un recapado (colocación y compactación de una capa de mezclas asfáltica con el objeto de mantener la capa de rodadura de un pavimento), como así también a la instalación de los materiales anti-reflejo de fisuras, las cuales son determinantes para lograr una adecuada adherencia entre capas. Por ello, es importante controlar el estado y acondicionamiento de la capa inferior, el tipo de fresado si lo hubiere, tipo de ligante, tipo y dotación de riego como así también y más importante, la tasa residual de asfalto sobre la capa, la temperatura y grado de compactación de la mezcla asfáltica de refuerzo.

También es esencial analizar las características y propiedades de los materiales geosintéticos empleados: tipo de polímero utilizado como manufactura, rigidez y flexibilidad, tamaño de abertura de malla en el caso de las geogrillas o geomallas, tipo y porcentaje de impregnación de las fibras, los traslapes entre materiales con el consecuente aumento de riego sobre los mismos, entre otras. De esta forma conjuntamente con el control del proceso constructivo, reducirán a un mínimo la pérdida de adherencia entre capas, asegurando el desempeño del pavimento.

VI. REFERENCIAS

- [1] Davies Robert M.; Sorensom Jim [2000]. Insights into Pavement preservation. Federal Highway Administration. Washintong DC. 26 p.
- [2] Cordo Oscar V. [1994]. Diseño estructural de caminos, Método AASHTO `93 traducido. Escuela de ingeniería de caminos de montaña (EICAM). San Juan, Argentina.
- [3] Delbono H. L., et al, (2014). Estudio de grillas poliméricas como sistemas anti reflejo de fisuras bajo sollicitaciones dinámicas. Tesis Doctoral en Ingeniería mención Materiales, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata (inédita), 379 p. ISBN: 978-987-1896-38-7. <http://lemac.frip.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2014/12/parte-A.pdf>
- [4] Raab C. and Partl M. N. [2004]. Interlayer shear performance: experience with different pavement structures. Paper 081, 535-545. 3rd. Eurasphalt y Eurobitume Congress. Viena, Austria.
- [5] Tostiscarelli Jorge [2004]. Ensayo para evaluar la adherencia entre capas asfálticas. XXXIII Reunión del Asfalto. Comisión Permanente del Asfalto (CPA). Mendoza, Argentina.
- [6] Álvarez Calisto; Cristian Fabián [2007]. Estudio experimental de la resistencia de la adherencia entre capas en la construcción de carpetas asfálticas en caliente. Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.
- [7] Ricci, Luis A.; Fensel, Enrique; Botasso H. Gerardo [2007]. Recapados de pavimentación urbana con productos geosintéticos. La valoración de la adherencia mediante ensayo LCB. V Congreso Latinoamericano de Geosintéticos. Colombia.
- [8] Fernández Cobo, Milagros; Soto Sanchez, José Antonio [2008]. Riegos de adherencia. Diferentes métodos de control: CEDEX, UPC, INTECASA. Panorámica actual de las mezclas bituminosas. Asefma, un nuevo enfoque. Comunicación libre pp. 1-13
- [9] Zamora Barraza David; Calzada Pérez Miguel; Castro Fresno Daniel; Vega Zamanillo Ángel [2010]. New procedure for measuring adherence between a geosynthetic material and a bituminous mixture. Geotextile and Geomembrane Vol. 28, pp 483-489
- [10] Ricci L. A. (2011). Evaluación de la adherencia entre capas asfálticas con intercapa de Geosintético. Tesis de Maestría. Maestría en Ingeniería del Transporte –

- Orientación Vial, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA). Argentina. <http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2012/08/Tesis-Posgrado-LuisRicci.pdf>
- [11] Maroni Laerte G. [1993]. El uso de Geotextiles en repavimentación asfáltica. Una experiencia reciente. Revista Carreteras. Edición N° 140, p. 57-66.
- [12] Ponniah, J.; Vacin O., and Kennepohl G. [2006]. Effectiveness of Tack Coat to Improve Bonding between Asphalt Layers: Laboratory Evaluation, Proceedings, Canadian Technical Asphalt Association, Charlottetown, Prince Edward Island, pp. 249-260
- [13] Leng, Z.; Ozer H.; Al-Qadi I. L. and Carpenter S. H. [2008]. Interface Bonding between Hot-Mix Asphalt and Various Portland Cement Concrete Surfaces—Laboratory Assessment, Journal of the Transportation Research Board, No. 2057, Transportation Research Board, Washington, D.C. pp. 46-53
- [14] Singer Fernando L. y Pytel Andrew [2004]. Libro de Resistencia de Materiales. Editorial Alfaomega. ISBN 13 / Cód Barra: 9789701510568. 4ª edición, 584 p.
- [15] Darter M. I. et al, [1994]. Base and subgrade Effects on Concrete Pavement Performance. 3° International Workshop on the Design and Evaluation of Concrete Pavement. Proceeding. CROW Krumbach. pp. 279-290
- [16] Álvarez Blanco Francisco [2005]. Materiales poliméricos y Compuestos. Tema 11 intercara fibra-matriz. Escuela de Minas de Oviedo. Laboratorio de Cementos. Principado de Asturias. 59 p.
- [17] Norma Argentina. Norma IRAM 45001 [1998]. Adhesivos, definiciones. Primera edición 28-08-1998.
- [18] Ferreira Da Silva André E. [2003]. Estudo do comportamento de pavimentos de concreto simples em condições de aderência entre placa de concreto e base cimentada ou asfáltica. Tesis do Laboratório de mecânica de pavimentos/EPUSP. São Paulo. Brasil.
- [19] Fusco P. B. [1995]. Técnicas de armar as estruturas de concreto. 382 pág. PINI. São Pablo. Brasil.
- [20] Shah S. P. y Ahmad S. H. [1994]. High Performance Concretes and Applications. 403 p. 1ed Butterworth, Heinemann, Oxford.
- [21] Madrid Mario [1999]. Tecnología de la adhesión. Departamento Técnico de Loctite España. pp.1-59. España.
- [22] Departamento Nacional de Infraestructura del Transporte (DNIT) [2005]. Manual de pavimentos rígidos. 2º edición. 234 p. Publicação IPR 714. Rio de Janeiro, Brasil.

- [23] Roberto, Josué; Salguero, Aldana [2004]. Mantenimiento de carreteras con concreto en caliente. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- [24] CDCII [2002]. Catálogo de deterioro de pavimentos flexibles. Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica. Vol. 11.
- [25] Rodríguez, R. R.; Gutiérrez, R. T.; Anguas, P. G. [1998]. Pavimentos flexibles. Problemática, metodología de diseño y tendencias. Publicación técnica N° 104. ISSN 0188-7297. Sanfandila. Qro.
- [26] Bellinger, William Y. and Miller John S. [2003]. Distress identification manual for the long-term Pavement Performance Program. 164 p. FHWA-RD-03-031.
- [27] Iturbide, Jorge Coronado [2000]. Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. Tomo III. Secretaría de integración económica centroamericana (SIECA). Guatemala.
- [28] Kennedy, C.K., and N.W. Lister [1980]. Experimental Studies of Slippage, The Performance of Rolled Asphalt Road Surfacing, Institution of Civil Engineers, London, Great Britain, p. 31-56
- [29] Peattie, K.R., [1980]. The Incidence and Investigation of Slippage Failures. The Performance of Rolled Asphalt Road Surfacing, Institution of Civil Engineers, London, Great Britain, p. 3-15
- [30] Livneh M., and E. Schlarsky [1962]. The Bearing Capacity of Asphalt Concrete Surfacing, Proceedings, 1st International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, p. 345-353
- [31] SETRA/DTC [1986]. Le Decollement des Couches de Revêtement de Chaussées, Note d'information Chaussées – Terrassement n° 25, SETRA.
- [32] Lepert, P. H., J.P. Poilane, and M. Bats-Villard [1992]. Evaluation of Various Field Measurement Techniques for the Assessment of Pavement Interface Condition, Proceedings, 7th International Conference on Asphalt Pavements, International Society of Asphalt Pavements, Nottingham, Great Britain, p. 224-237
- [33] Hachiya, Y., and K. Sato [1997]. Effect of Tack Coat on Bonding Characteristics at Interface between Asphalt Concrete Layers, Proceedings, 5th International Conference on Asphalt Pavements, International Society of Asphalt Pavements, Seattle, Washington, p. 349-362
- [34] Al Hakim, B., L.W. Cheung, and R.J. Armitage [2000]. Use of FWD Data for Prediction of Bonding between Pavement Layers, International Journal of Pavement Engineering, Vol. 1, N° 1, p. 49-59

- [35] Sangiorgi, C.; Collop A. C. and Thom N. H. [2003]. A Non-Destructive Impulse Hammer for Evaluating the Bond between Asphalt Layers in a Road Pavement, Proceedings, International Symposium: Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Berlin, Germany.
- [36] Romanoschi, S. A. and Metcalf J. B. [2003]. Errors in Pavement Layer Moduli Backcalculation Due to Improper Modeling of the Layer Interface Condition, Proceedings, Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- [37] Canestrari, F.; Ferrotti G.; Partl M. N. and Santagata E. [2005]. Advanced Testing and Characterization of Interlayer Shear Resistance, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1929, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. p. 69-78
- [38] Dragomir L. Mihai; Petit Christopher [2011]. Thermal Shrinkage bending test in characterizing reinforcement advantages over bituminous mixtures. Acta technica Napocensis: civil engineering & architecture. Vol. 54 N°1. p. 112-121.
- [39] Ameri-Gaznon, M. and Little D. N. [1990]. Octahedral Shear Stress Analysis of an ACP Overlay on a Rigid Base, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, White Bear Lake, Minnesota, Vol. 59.
- [40] International Geosynthetic Society (IGS).
<http://geosyntheticssociety.org/>
- [41] Holtz, Robert D.; et al, [1998]. Geosynthetic. Design and Construction Guidelines. Federal Highway Administration FHWA HI-95-038. DTFH61-93-C-00120. 460 p.
- [42] 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.
- [43] Lytton R. L. [1989]. Use of geotextiles for reinforcement and strain relief in asphalt concrete Geotextiles and Geomembranes, Vol. 8, pp. 217-237.
- [44] Kim J. y Butllar 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.
- [45] 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.

- [46] 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.
- [47] 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.
- [48] 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>
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] 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
- [52] Dragomir L. Mihai; Petit Christopher (2011). Thermal Shrinkage bending test in characterizing reinforcement advantages over bituminous mixtures. *Acta technica Napocensis: civil engineering & architecture*. Vol. 54 N°1. p. 112-121.
- [53] Montestruque G., et al, (2015). Avaliação da adherencia de geogrelhas entre camadas asfálticas. *Memorias XVIII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto*, ISBN 978-950-630-031-9. pp. 919-929. Bariloche, Argentina.
- [54] Norma NLT-382/08 (2008). Evaluación de la adherencia entre capas de firme, mediante ensayo de corte. *Depósito Legal: M-57113-2008*. ISBN: 978-84-7790-484. España.
- [55] 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
- [56] Dirección Nacional de Vialidad (1998). Pliego de Especificaciones Técnicas Generales. http://www.vialidad.gov.ar/corredores%20viales/archivos/2_llamado%20licitacion/PE_TG.pdf

- [57] 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.
- [58] Dirección Nacional de Vialidad (DNV) [1998]. Pliego de Especificaciones Técnicas Generales. Argentina.
- [59] 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.

**More
Books!** 



yes
I want morebooks!

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.get-morebooks.com

¡Compre sus libros rápido y directo en internet, en una de las librerías en línea con mayor crecimiento en el mundo! Producción que protege el medio ambiente a través de las tecnologías de impresión bajo demanda.

Compre sus libros online en
www.morebooks.es

SIA OmniScriptum Publishing
Brīvības gatve 197
LV-103 9 Rīga, Latvija
Telefax: +371 68620455

info@omniscrptum.com
www.omniscrptum.com

OMNI Scriptum



