

“INTERFASE HORMIGÓN ASFALTO CON INTERPOSICIÓN DE GEOSINTÉTICO, EN LA RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS”

Autor: Dr. Ing. Héctor Luis Delbono
e-mail de contacto: delbonoluis@hotmail.com

LEMaC - 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.

Resumen

Generalmente un pavimento de hormigón deteriorado se restaura mediante una capa de refuerzo asfáltico. Actualmente, una intervención adecuada consiste en interponer un material geosintético para retardar el reflejo de fisuras existentes a la capa superior. La gran disyuntiva es la adherencia que se logra entre las capas.

Las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento dependen de las propiedades de los materiales que lo constituyen; por ello, el presente trabajo analiza las interacciones que se producen entre materiales geosintéticos, de diferente estructura y composición química, interpuestos entre una capa de hormigón de cemento portland y una capa de mezcla asfáltica convencional, utilizando como agente de adhesión una emulsión asfáltica modificada con polímero.

Se realiza una comparativa colocando el geosintético entre capas asfálticas.

Se encuentra que el material geosintético presenta mayor beneficio cuando se lo coloca entre capas asfálticas. Sin embargo, este genera un detrimento en comparación con el sistema que no considera al material.

Abstract

Generally deteriorated concrete pavement is restored by a layer of asphalt reinforcement. At present, appropriate intervention is to interpose a geosynthetic material reflection delay existing fissures to the top layer. The great dilemma is that the adhesion between the layers is achieved.

The physical and mechanical properties of a pavement depend on the properties of the constituent materials; therefore, this paper analyzes the interactions that occur between different geosynthetics structure and chemical composition interposed between a layer of Portland Cement Concrete and Asphalt Mix Conventional layer, using as a bonding agent-modified bitumen emulsion polymer.

a comparison is performed by placing the geosynthetic between asphalt layers.

It is found that the geosynthetic material has greater benefit when it is placed between asphalt layers. However, this generates a detriment compared with the system that does not consider the material.

1. Introducción

Un pavimento, al cual se puede definir como sistema multicapa (paquete estructural del camino formado por capas de diferentes espesores y materiales) debe actuar solidariamente, para lo cual la relación íntima entre sus componentes es de fundamental importancia, permitiendo que las solicitaciones generadas por el tránsito y las climáticas sean disipadas en el sistema (capas que conforman el pavimento) y no a través del comportamiento individual de cada capa [1].

La problemática de la falta de adherencia radica fundamentalmente en una disminución significativa del momento de inercia con respecto a un pavimento con buena adherencia entre sus capas, lo que causa la disminución de la rigidez, de la capacidad estructural y un aumento de las deflexiones observables [2].

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 [3]. Esta falta de vínculo se traduce en una mala o nula distribución de tensiones en el espesor total del pavimento, Figura 1.

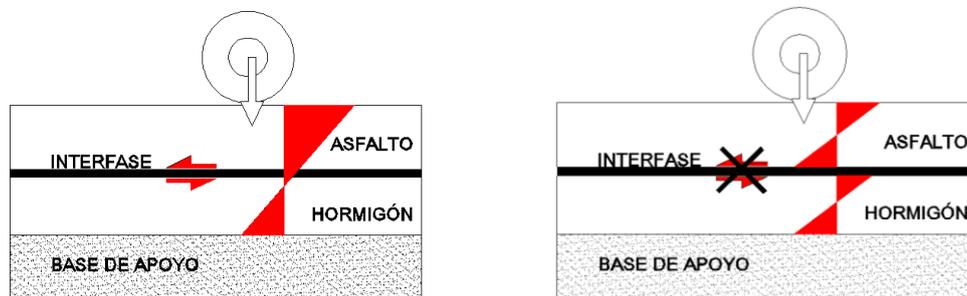


Figura 1. Resistencia del sistema multicapas: izquierda, capas adheridas y derecha, capas sin adherir

Ponniah J. et al. [4] explica que es conveniente asegurar una buena unión entre capas para que toda la estructura del pavimento actúe como una capa monolítica. Leng Z. et al. apoya esta posición e indica que el vínculo entre una capa de Hot Mix Asphalt (HMA) sobre un pavimento de hormigón es uno de los factores más importantes que pueden alterar la vida útil del pavimento [5].

La introducción de los materiales geosintéticos entre las capas de un pavimento no se realiza con el objeto de mejorar la adherencia entre capas sino de absorber las tensiones generadas por las cargas externas. No obstante ello, el fenómeno debe ser considerado ya que supone una discontinuidad en la interfase del sistema.

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. [6].

Se sospecha que la interposición de materiales geosintéticos puede generar una discontinuidad importante, disminuyendo o hasta anulando la adherencia entre capas o por el contrario, generar un anclaje debido a las interacciones químicas entre los polímeros que entran en juego en la interfase, y que pueden llegar a combinarse debido a la alta temperatura con que se coloca la mezcla asfáltica, logrando una unión mecánica a través de la aspereza y/o una unión físico-química mediante la formación de una red polimérica entre los materiales intervinientes.

Por lo citado anteriormente, el presente trabajo plantea el estudio del plano de discontinuidad "interfase" y análisis de la adherencia entre diferentes capas, interponiendo materiales geosintéticos.

2. Desarrollo experimental

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.

El sistema a estudiar está conformado por una losa de hormigón (Concreto hidráulico de Cemento Portland), una emulsión asfáltica modificada con polímero como agente de adhesión (ECRR-M), un material geosintético de malla abierta en poliéster (GPET) y otro de malla cerrada en polipropileno (GPP), y una carpeta asfáltica densa convencional tipo CAC D19 según el pliego de especificaciones técnicas generales para mezclas asfálticas en caliente gruesa utilizada como refuerzo [7]. Se busca cuantificar la adherencia que el

geosintético logra entre las capas en que se coloca, para lo cual se toma como referencia el sistema descrito, sin material geosintético intermedio entre capas.

Para lograr el objetivo fue imprescindible analizar y valorar el comportamiento de la interfase hormigón/asfalto, donde entran en comunión distintos materiales con propiedades físicas y químicas diferentes. Para ello se realiza la caracterización completa de cada material interviniente en la matriz del sistema, realizándose ensayos de microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia de rayos X (EDAX).

Comparativamente se realizan ensayos para estudiar la adherencia en el plano de discontinuidad, considerando la interposición de los materiales geosintéticos entre capas de mezcla asfáltica convencional del tipo CAC D19.

2.1 Materiales componentes

2.1.1 Hormigón

El hormigón base de los sistemas fue dosificado en el laboratorio, el cual respeta la fórmula presentada en la Tabla 1.

Tabla 1. 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	

2.1.2 Emulsión asfáltica

El material utilizado como riego asfáltico (ECRR-M) es brindado por una importante empresa del país. Sobre esta emulsión se realizan los ensayos de caracterización; los parámetros obtenidos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización de la emulsión empleada

Ensayo	Unidad	Norma IRAM	Resultado
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C	SSF	6721	33,7
Residuo asfáltico por destilación	g/100g	6719	65,3
Asentamiento	g/100g	6716	1,7
Contenido de agua	g/100g	6719	34,7
Carga de partículas	-	6690	positiva
Residuo sobre tamiz IRAM 850 µm	g/100g	6717	0,06
Ensayos sobre el residuo de destilación			
Penetración del residuo	0,1 mm	6576	70
Ductilidad a 5 °C	cm	6579	>100

2.1.3 Materiales geosintéticos

Los materiales seleccionados para estudiar la adherencia en la interfase del sistema, fueron obtenidos a partir de convenios firmados con importantes empresas, Figura 2. El material GPET fue obtenido de una empresa extranjera y el material GPP fue desarrollado conjuntamente con una empresa Nacional, siendo un importante avance tecnológico al país, debido a que la mayoría de estos materiales son importados.



GPP

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

GPET

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

Figura 2. Materiales geosintéticos

2.1.4 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 sobre el hormigón, es un concreto asfáltico convencional elaborado en caliente (CAC D19).

La mezcla 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 [8]; 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. El cemento asfáltico empleado es del tipo CA-30 convencional.

La Tabla 3 presenta los resultados. Los mismos se obtienen mediante la dosificación y parámetros del ensayo Marshall, el cual permite caracterizar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica. Las probetas confeccionadas se ensayan según la Normativa de Vialidad Nacional, Norma VN - E9 - 86 [9].

Tabla 3. 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

2.2 Confección de probetas

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, al que se denomina "Referencia": una capa de hormigón de 5 cm de espesor, un riego de 0,90 l/m² de dotación, y la capa de mezcla asfáltica en caliente tipo CAC D19, Figura 3a.

Las probetas con material geosintético: una base del hormigón de 5 cm de espesor, un riego de emulsión asfáltica de 0,90 l/m² de dotación, el material geosintético, un segundo riego solo para el material de malla cerrada (GPP) donde la dotación es de 0,25 l/m², y la capa de mezcla asfáltica en caliente tipo CAC D19, Figura 3b.

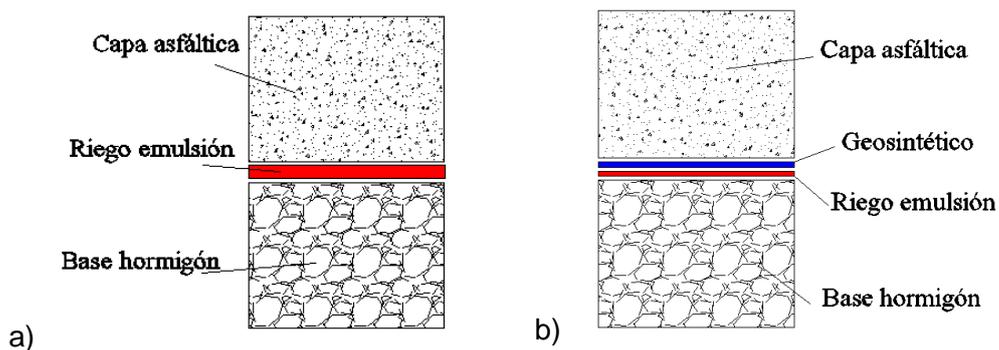


Figura 3. Esquema de probeta a) referencia b) con geosintético

Para el procedimiento del moldeo de las probetas, se determinó en primera instancia, la energía de compactación que requiere moldear la probeta asfáltica con 75 golpes por cara, de manera de obtener en la probeta asfáltica que se compacta sobre el hormigón, parámetros similares de altura, volumen y densidad de la mezcla asfáltica. De esta manera resultó necesario aplicar 150 golpes.

La mezcla asfáltica se calentó a 165 °C en baño de aceite para luego proceder a la compactación de la mezcla sobre el geosintético a 160 °C.

El mismo esquema tienen los sistemas con base de mezcla asfáltica para realizar la comparativa con las de base de hormigón. La única diferencia es que se utilizó 0,50 l/m² de dotación para ligar las capas. Se confeccionaron serie de tres probetas por cada sistema a ser ensayado.

3. Análisis de la interfase

3.1.1 Observación con lupa

Se observa, mediante lupa Olympus a la que se le adaptó una cámara Olympus QColor 3, la unión lograda en la interfase del sistema. Cuando se utiliza el material de malla cerrada (GPP), este se adapta bien a la superficie apreciándose buena transición entre los materiales, logrados por parte de la emulsión y la membrana propia del material, Figura 4. En el caso del material de malla abierta (GPET), este crea mayor perturbación, debido a su espesor variable, donde el agregado debe acomodarse, Figura 5.

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 6 y Figura 7.

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.



Figura 4. Interfase hormigón + emulsión + GPP + emulsión + mezcla asfáltica

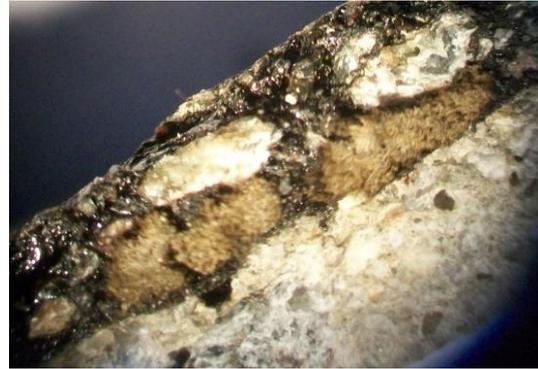


Figura 5. Interfase hormigón + emulsión + GPET + mezcla asfáltica



Figura 6. Interfase mezcla asfáltica + emulsión + GPP + emulsión + mezcla asfáltica

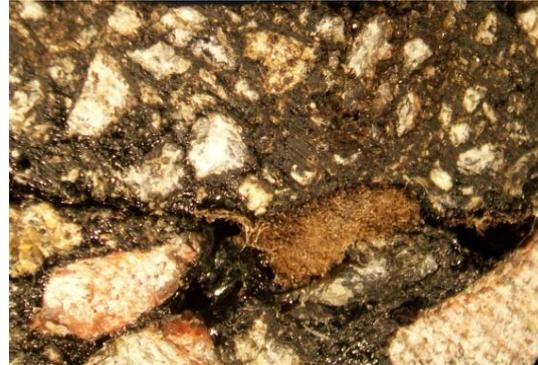


Figura 7. Interfase mezcla asfáltica + emulsión + material GPET + mezcla asfáltica

3.1.2 Observación mediante espectroscopia electrónica de barrido (SEM)

Se realiza el ensayo de SEM con objeto de observar la interfase del sistema.

La Figura 8 presenta la interposición del material GPET entre capas asfálticas, mientras que la Figura 9 muestra cómo la emulsión asfáltica produce continuidad entre los materiales, mediante la difusión del polímero que la compone, beneficiando la fuerza de enlace.

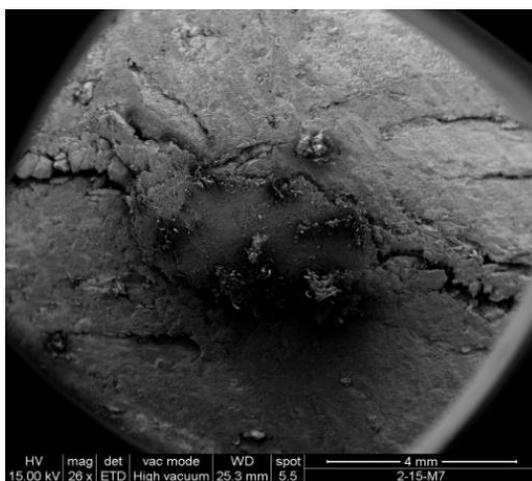


Figura 8. Interposición entre capas del material GPET

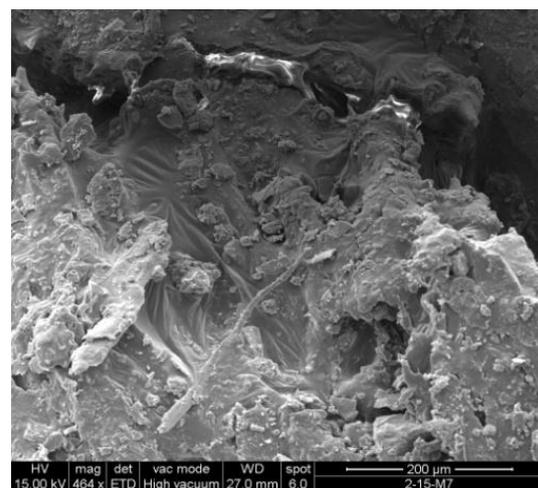


Figura 9. Emulsión recubriendo la interfase

La emulsión asfáltica es la que vincula los materiales, de no realizar una aplicación de la misma en la dotación necesaria, no existe adherencia entre capas más que la mecánica que puede darse por la aspereza de las superficies a unir.

3.1.3 Observación mediante espectroscopia por rayos X (EDAX)

Se realiza el ensayo de rayos X (EDAX), a un voltaje de aceleración de 20 Kv, utilizando el software EDAX Génesis. El ensayo se realiza sobre cada una de las interfaces para determinar la composición y los elementos químicos que intervienen, Figuras 10 a 13.

En el caso donde se coloca el material GPP, compuesto por una membrana asfáltica, sobre una losa de hormigón, Figura 10, el peso en masa de C y O indica mayor presencia de estos elementos. Esto se hace más evidente cuando el mismo material se introduce entre capas asfálticas, Figura 12.

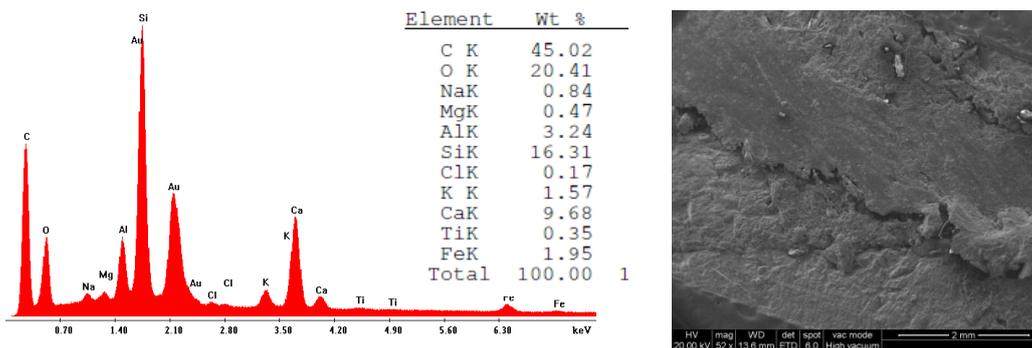


Figura 10. EDAX completo hormigón, GPP y mezcla asfáltica (correspondiente a la Figura 4)

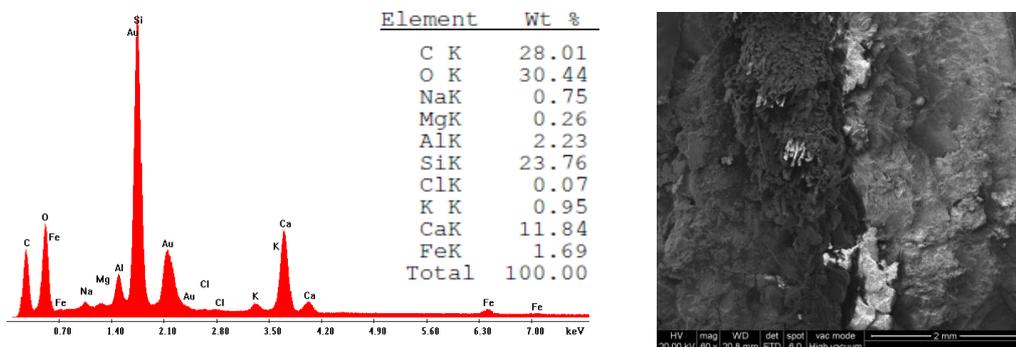


Figura 11. EDAX completo hormigón, GPET y mezcla asfáltica (correspondiente a la Figura 5)

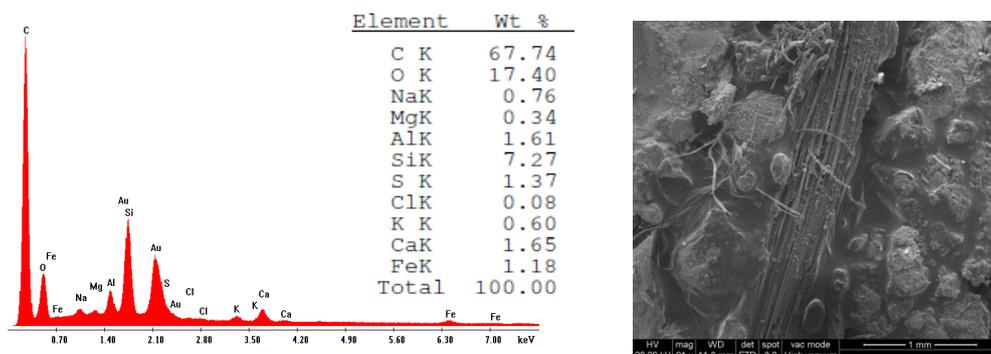


Figura 12. EDAX completo mezcla asfáltica, GPP y mezcla asfáltica (correspondiente a la Figura 6)

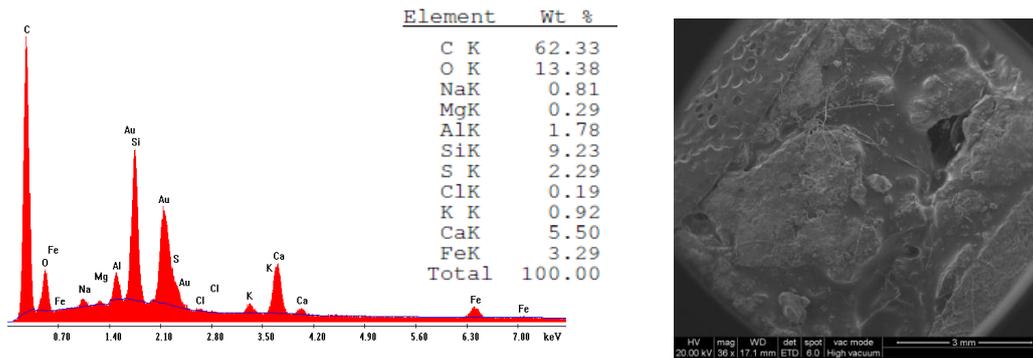


Figura 13. EDAX completo mezcla asfáltica, GPET y mezcla asfáltica (correspondiente a la Figura 7)

Se realiza EDAX sobre la Matrix de referencia (losa de hormigón, emulsión, capa asfáltica), con objeto de comparar posibles cambios en la interfase con aquella que incorpora un material a partir de fibras sintéticas. La Figura 14 muestra la citada interfase.

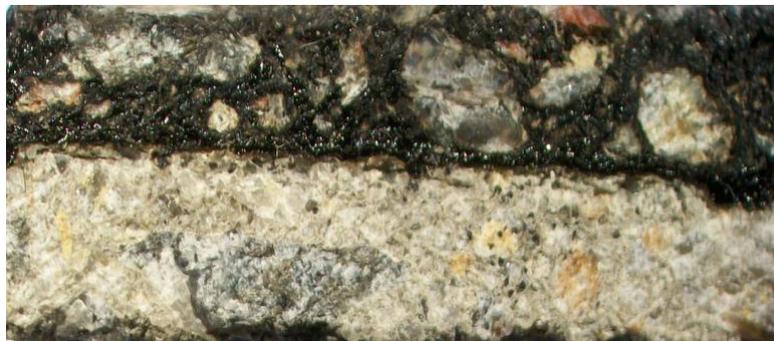


Figura 14. Interfase hormigón + emulsión + mezcla asfáltica

En la interfase donde no interviene un material geosintético se puede observar el pico de Ca que corresponde al cemento hidratado, y el pico de Si que corresponde al agregado granítico, Figura 15. La presencia del pico de C hace referencia a la emulsión asfáltica utilizada para ligar las capas.

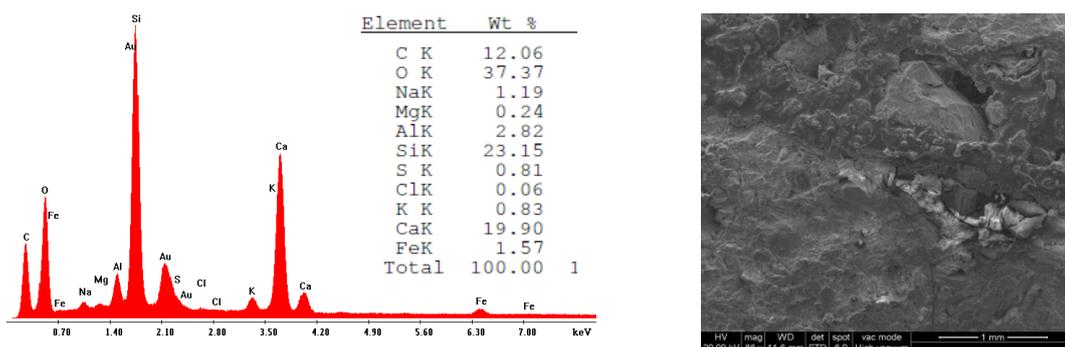


Figura 15. EDAX completo hormigón y mezcla asfáltica

Los espectros indican los picos de Au correspondiente al metalizado realizado sobre las muestras, el cual se elimina para la cuantificación de los elementos presentes.

4. Ensayos de adherencia

4.1 Adherencia por corte LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona)

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 “interfase”.

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 16 presenta el instrumental utilizado para la realización del ensayo LCB.



Figura 16. Máquina para el ensayo de corte por flexión LCB

Mediante los ensayos realizados se determina un coeficiente de adherencia (CA_d), comparando la tensión de adherencia de la muestra con material geosintético, con la tensión de adherencia máxima obtenida entre contacto íntimo hormigón/mezcla del ensayo.

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

donde:

CA_d = Coeficiente de Adherencia = (adimensional)

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

τAd_{max} = Tensión de adherencia entre capa de hormigón y mezcla asfáltica (kg/cm²)

4.1.1 Procedimiento de ensayo

Se coloca la probeta de ensayo en posición horizontal, apoyada en dos puntos como una viga simplemente apoyada. El plano de debilidad, interfase, debe quedar en las cercanías de uno de los apoyos. Se aplica una carga centrada P de tal modo que la probeta esté sometido a flexión, y que la sollicitación en el plano de debilidad sea un esfuerzo cortante con un valor de carga equivalente a P/2. El ensayo se efectúa a una velocidad de 1,27 mm/min y a una temperatura de 22 ± 2 °C.

La adopción de la temperatura y velocidad de carga surge del análisis realizado por Vargas Saa P. (2008) donde concluye que a mayores velocidades de ensayo los resultados de adherencia al corte resultan sobrevalorados y con el aumento de la temperatura los valores de adherencia al corte disminuyen considerablemente.

4.2 Resultados de adherencia por corte (LCB)

4.2.1 Resultados sobre base hormigón

En la Tabla 4 se aprecian los resultados encontrados en cada sistema.

Tabla 4. Resultados de adherencia LCB sobre base hormigón

Material	Carga aplicada (kg)	Carga en la interfase (kg)	Deformación a carga máx. (mm)	Tensión a carga máx. (MPa)	Trabajo (kg.mm)
Sistema 1 (Referencia)	381,01	190,51	0,55	0,22	156,3
Sistema 2 (GPET)	443,49	221,75	0,79	0,26	306,8
Sistema 2' (GPET SF)	117,58	58,79	0,62	0,07	61,5
Sistema 3 (GPP)	220,39	110,20	1,68	0,13	394,1

Nota : GPET SF corresponde al material con membrana de polipropileno sin fundir

Se observa una diferencia del 73 % en la adherencia lograda entre capas para el material GPET con la manta en polipropileno fundida y sin fundir. Esto debe ser considerado particularmente en la obra.

El material geosintético compuesto por la membrana asfáltica (GPP) queda adherido al hormigón, mientras que el geosintético de estructura abierta (GPET) queda adherido a la mezcla asfáltica.

El material GPET sin la manta de polipropileno es quien ofrece una ventaja al ligar las capas, en comparación con el Sistema 1. Cuando se interpone una estructura continua en la interfase, se genera un plano de deslizamiento debido a la sollicitación de corte de la unión.

El material GPET que posee una manta de polipropileno, debe fundirse con la temperatura de la mezcla asfáltica (155 °C) de acuerdo a lo que especifican los

comerciantes en sus cartillas técnicas. El ensayo fue realizado nuevamente, Sistema 2', debido a que con la temperatura de compactación de la mezcla (160 °C) la manta que compone el material no se fundió, lo cual no permitía el contacto íntimo entre la capa de hormigón y la capa asfáltica. Por ello se procedió a quitar la manta y repetir el ensayo.



Figura 17. Ilustraciones representativas de los sistemas 1,2 y 3 respectivamente sobre base de hormigón

4.2.2 Resultados sobre base asfáltica

Como comparativa se realizan las experiencias utilizando una base de mezcla asfáltica convencional (CAC D19). Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de adherencia LCB sobre base asfáltica

Material	Carga aplicada (kg)	Carga en la interfase (kg)	Deformación a carga máx. (mm)	Tensión a carga máx. (MPa)	Trabajo (kg.mm)
Sistema 4 (Patrón)	804,62	402,31	1,42	0,47	599,4
Sistema 5 (GPET)	554,34	277,17	0,82	0,33	383,9
Sistema 6 (GPP)	212,39	106,19	1,50	0,12	306,1



Figura 18. Ilustraciones representativas de los sistemas 4,5 y 6 respectivamente sobre base asfáltica

El Sistema 4 trabaja mejor en comparación con la interposición de un material geosintético como puede observarse en los resultados, debido a que las capas presentan mayor afinidad entre sí.

Entre capas asfálticas la interposición de un material geosintético genera una discontinuidad apreciable reduciendo la adherencia y por ende el comportamiento monolítico de la estructura de un pavimento.

El material geosintético de malla abierta (GPET) trabaja mejor que el geosintético de malla cerrada (GPP), cuando se los coloca entre capas, sean asfálticas u entre una capa de hormigón y una capa asfáltica. La estructura del material permite mayor interacción mecánica entre las capas.

Tabla 6. Coeficiente de adherencia CAd para base de hormigón

Material	Carga aplicada (Kg)	Tensión (MPa)	Tensión (Kg/cm ²)	CAd
Sistema 1 (Referencia)	381,53	0,22	2,24	1,00
Sistema 2 (GPET)	443,48	0,26	2,65	1,18
Sistema 3 (GPP)	220,38	0,13	1,32	0,59

Tabla 7. Coeficiente de adherencia CAd para base asfáltica

Material	Carga aplicada (Kg)	Tensión (MPa)	Tensión (Kg/cm ²)	CAd
Sistema 4 (Referencia)	804,59	0,47	4,79	1,00
Sistema 5 (GPET)	554,34	0,33	3,36	0,70
Sistema 6 (GPP)	88,88	0,10	1,02	0,21

Entre los sistemas que no consideran la interposición de un geosintético (Sistema 1 y Sistema 4), existe un beneficio de 52,5 % en la adherencia cuando se consideran las capas de mezcla asfáltica, esto se debe a la afinidad entre los materiales.

4.3 Adherencia mediante tracción directa

Otro de los ensayos implementados para determinar la adherencia entre capas, es el ensayo a tracción directa sobre probetas cilíndricas de dimensiones y condiciones similares a las confeccionadas para el ensayo de corte LCB. Para la ejecución del ensayo se implementan las mordazas para la sujeción de la probeta y ajuste a las mordazas del equipo de tracción EMIC DL 10000, Figura 21.

4.3.1 Confección de probetas

La confección de las probetas y la secuencia de moldeo, se realiza de manera similar que para las probetas confeccionadas para el ensayo de adherencia por corte LCB.

4.3.2 Procedimiento de ensayo

Se realiza el ensayo a tracción directa ajustando la velocidad de la maquina a 1,27 mm/min. al igual que la velocidad de adherencia por corte. Se colocan las probetas en las mordazas, ajustándolas de forma tal que no se produzcan desplazamientos entre la probeta y la mordaza, de manera que no alteren los resultados del ensayo. Los ensayos son realizados a una temperatura de 22 ± 2 °C y a una humedad relativa de 63 %.

La tensión de tracción promedio se obtiene dividiendo la carga máxima por la sección de la probeta, y el trabajo se obtiene como el área bajo la curva carga versus deformación.

4.4 Resultados de adherencia por tracción directa

4.4.1 Resultados sobre base hormigón

Tabla 8 Adherencia por tracción directa sobre base de hormigón

Material	Carga máx. (kg)	Deformación a carga máx. (mm)	Tensión a carga máx. (MPa)	Trabajo (kg.mm)
Sistema 7 (Referencia)	46,14	0,53	0,054	268,44
Sistema 8 (GPET)	209,68	1,87	0,246	507,60
Sistema 8' (GPET SF)	98,71	1,55	0,100	249,68
Sistema 9 (GPP)	166,90	1,15	0,168	314,45



Figura 19. Ilustraciones representativas de los sistemas 7,8 y 9 respectivamente sobre base de hormigón

4.4.2 Resultados sobre base asfáltica

Tabla 9 Adherencia por tracción directa sobre base de asfáltica

Material	Carga aplicada (kg)	Deformación a carga máx. (mm)	Tensión a carga máx. (MPa)	Trabajo (kg.mm)
Sistema 10 (Patrón)	433,81	2,482	0,516	986,06
Sistema 11 (GPET)	234,39	1,377	0,281	342,80
Sistema 12 (GPP)	173,20	1,612	0,203	315,11



Figura 20. Ilustraciones representativas de los sistemas 10,11y 12 respectivamente sobre base asfáltica

La incorporación de un material geosintético, entre una capa de hormigón y asfáltica, mejora la adherencia en comparación con el contacto íntimo entre hormigón y mezcla.

Al finalizar los ensayos el material geosintético con abertura de malla abierta queda adherido a la base asfáltica mientras que los materiales que cubren toda la superficie quedan adheridos a la base de hormigón.

Para el caso de la interposición de los materiales geosintéticos entre capas asfálticas, se comprueba al igual que el ensayo por corte, los materiales reducen significativamente la adherencia entre capas.

Tabla 10. Coeficiente de adherencia CAd para base de hormigón

Material	Carga aplicada (Kg)	Tensión (MPa)	Tensión (Kg/cm ²)	CAd
Sistema 7 (Referencia)	46,14	0,054	0,55	1,00
Sistema 8 (GPET)	209,68	0,246	2,51	4,53
Sistema 8' (GPET SF)	98,71	0,100	1,02	1,85
Sistema 9 (GPP)	143,06	0,168	1,71	3,09

Tabla 11. Coeficiente de adherencia CAd para base asfáltica

Material	Carga aplicada (Kg)	Tensión (MPa)	Tensión (Kg/cm ²)	CAd
Sistema 10 (Patrón)	433,81	0,516	5,26	1,00
Sistema 11 (GPET)	234,39	0,281	2,23	0,42
Sistema 12 (GPP)	173,20	0,203	2,07	0,39

Se evidencia en los coeficientes de adherencia obtenidos sobre una base de hormigón, que los sistemas contribuyen a la adherencia entre capas, a diferencia del Sistema 1. En este caso los materiales compuestos por una membrana asfáltica presentan buen comportamiento.

5. Conclusiones

- La interfase es una región de tamaño desconocido y variable. Esta región es decisiva para la transferencia de carga de la matriz al refuerzo.
- 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, uniformidad y dotación en la aplicación de riegos de adherencia y el sistema constructivo.
- Del análisis de la interfase realizado mediante SEM, EDAX y observaciones con lupa se concluye que los diferentes materiales geosintéticos tienen buenos comportamientos cuando se los introduce entre capas de diferentes características; estos evidencian mayores ventajas entre capas asfálticas al indicar mayor porcentaje en masa de C y O, elementos que tienen alta electronegatividad, mayor capacidad de atraer electrones hacia si, ofreciendo mayor fuerza de enlace.
- Sin embargo, en los ensayos de adherencia, el introducir los materiales entre capas asfálticas, estos reducen la adherencia en comparación con el sistema patrón. Sobre la base de hormigón, los sistemas que ofrecen un beneficio son aquellos conformados por una malla abierta, esto puede atribuirse al bloqueo que se genera entre las fibras del material y la micro textura superficial de las capas. Para este caso los materiales que cubren toda la superficie generan una reducción en la adherencia.
- Existe una marcada diferencia en el comportamiento según el tipo de material interpuesto; los materiales de malla abierta manifiestan mayores beneficios tomando mayor carga con menor deformación, mientras que los materiales que cubren toda la superficie reducen la resistencia de adherencia en la interfase, aunque ofrecen mayor trabajo al despegue de capas, en comparación con el sistema de referencia.
- Si se hiciera 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.

6. Bibliografía

- [1] Tschegg, E.K.; Kroyer G.; Tan D-M; Stanzi-Tschegg S.E. and Litzka J. [1995]. Investigation of Bonding between Asphalt Layers on Road Construction, Journal of Transportation Engineering, Vol. 121, N° 4, American Society of Civil Engineers, New York, New York, pp. 309-316.
- [2] Campana, Juan Manuel y Rozada Perret, Blas [2004]. Consideración de la adherencia entre capas asfálticas en el análisis estructural. Comisión Permanente del Asfalto. Argentina.
- [3] Maroni Laerte G. [1993]. El uso de Geotextiles en repavimentación asfáltica. Una experiencia reciente. Revista Carreteras. Edición N° 140, p. 57-66.

- [4] 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
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Comisión permanente del asfalto (CPA) [2010]. Proyecto de Pliego de especificaciones técnicas generales para mezclas asfálticas en caliente gruesas.
- [8] Dirección Nacional de Vialidad (DNV) [1998]. Pliego de Especificaciones Técnicas Generales. Argentina.
- [9] Norma VN – E9 – 86 [2008]. Ensayo de Estabilidad y Fluencia por el Método Marshall Dirección Nacional de Vialidad. Dirección Nacional de Vialidad – Edición 2008 1º Distrito Buenos Aires. Argentina.