

AHUELLAMIENTO EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS UTILIZANDO GEOSINTÉTICOS

Héctor L. Delbono¹; Oscar Raúl Rebollo²

^{1,2} LEMaC; Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Av. 60 y 124 (1900) Tel/fax: +54-221-4890413. La Plata, Buenos Aires, Argentina. delbonoluis@hotmail.com; orebollo@frlp.utn.edu.ar

Resumen

El ahuellamiento es una falla que se manifiesta superficialmente en los pavimentos asfálticos, como consecuencia de la aplicación reiterada de las cargas del tránsito. Consiste en la acumulación de la deformación vertical permanente que se produce en todas las capas que forman la estructura del camino evidenciada en correspondencia con la huella de circulación del tránsito, reduciendo la vida en servicio del pavimento y originando importantes riesgos en la circulación de los usuarios.

Se realizaron experiencias en laboratorio utilizando el equipo Wheel Tracking Test, implementando diferentes sistemas: con y sin la interposición de diferentes materiales geosintéticos, analizando el ahuellamiento bajo dos condiciones de ensayo: con y sin contención lateral de la probeta, manteniendo las demás condiciones de borde (carga y temperatura). Para el caso particular del ensayo sin contención lateral, el geosintético mejora la resistencia de la carpeta asfáltica al ahuellamiento a través de distribución de tensiones, mediante el anclaje mecánico que el material produce en la masa asfáltica.

Se analizaron diferentes parámetros de las curvas de ahuellamiento, evidenciando que los geosintéticos, según su conformación, reducen el potencial ahuellamiento que indefectiblemente se manifiesta, prolongando de esta manera la vida útil de los pavimentos.

Palabras Claves: Pavimento, Mezcla asfáltica, Ahuellamiento, Geosintético

1 Introducción

El ahuellamiento o deformación permanente es un tipo de deterioro que se produce en correspondencia con la huella de circulación de los vehículos con cada aplicación de carga y está representada por la acumulación de pequeñas deformaciones verticales que son irrecuperables, Figura 1. Este tipo de falla es favorecido por los efectos combinados de elevadas cargas de tránsito y elevada temperatura [1].

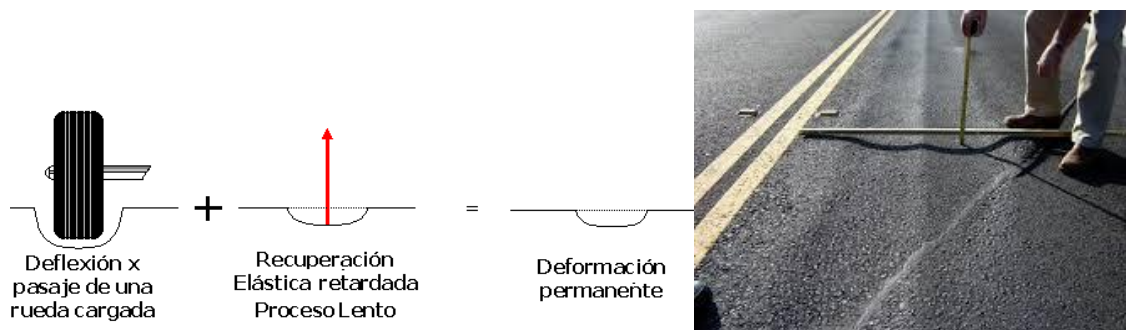


Figura 1 Deformaciones permanentes (Ahuellamiento)

El ahuellamiento se puede originar por varias razones: propiedades deficientes de los materiales que componen el paquete estructural, propiedades volumétricas erróneas y por las sollicitaciones sobre la estructura debidas al tránsito y las condiciones climáticas (altas temperaturas, cargas pesadas, bajas velocidades de circulación, etc.) [2].

El diseño de la mezcla debe contemplar lo expuesto anteriormente para lo cual la mezcla debe ser resistente, flexible y durable de modo de enfrentar no solo el fenómeno del ahuellamiento sino los diferentes modos de falla que pueden manifestarse en un pavimento asfáltico como son: fisuración por fatiga y fisuración térmica que tienen condiciones totalmente diferentes en cuanto a su comportamiento [3].

Las deformaciones verticales (ahuellamiento) en un pavimento generalmente se producen por la deformación de las bases, la subrasante y/o la deformación de la propia carpeta asfáltica, Figura 2. [4].

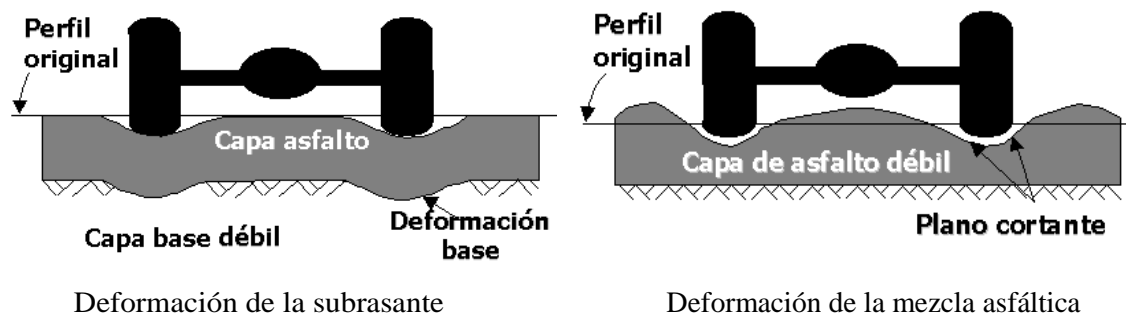


Figura 2 Diferente causas del ahuellamiento

Ante esta problemática común en los pavimentos flexibles, el presente trabajo trata el efecto del ahuellamiento de una capa asfáltica convencional densa de 5 cm de espesor, compactada sobre una mezcla convencional de 2 cm de espesor, la cual representa el antiguo pavimento, estudiando el comportamiento que brindan diferentes materiales geosintéticos interpuestos en la masa de la mezcla asfáltica. Para ello se emplea el equipo de rueda cargada Wheel Traking Test, bajo dos condiciones de ensayo, con y sin contención lateral de la probeta en el molde de ensayo, manteniendo la magnitud y frecuencia de carga y la temperatura.

La ausencia de la contención lateral de la probeta es planteado con el objeto de evidenciar los efectos restrictivos que los materiales geosintéticos pueden tener en este tipo de desplazamiento. Sin embargo, se sabe que la posición de la carga vehicular sobre la calzada versus el ancho de la trocha resulta equivalente a lo considerado en el procedimiento B de la Norma UNE EN 12697-22.

1.1 Factores de la mezcla frente al ahuellamiento

Las mezclas tradicionales se producen en base a granulometrías continuas densas. Estas mezclas, en condiciones extremas de servicio (carga y temperatura), suelen ahuellarse indefectiblemente.

Para que una mezcla sea resistente al ahuellamiento, debe existir un contacto íntimo entre las partículas gruesas, ser más resistentes y de mayor fricción interna [4].

Un alto contenido de asfalto genera un efecto lubricante que reduce el contacto entre las partículas de los agregados disminuyendo así la fricción interna de la mezcla. Por lo tanto, con contenidos excesivos de asfalto se tendrá una mezcla más deformable y con mayor probabilidad de ahuellarse.

Estas circunstancias se encuentran contempladas en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para concretos asfálticos en caliente y semi caliente del tipo denso, redactado por

Vialidad Nacional en la Tabla 12, en la misma se establece la evaluación de la resistencia al ahuellamiento, Figura 3. [5]

Tabla N°12 – REQUISITOS DE DOSIFICACIÓN									
Parámetro	Exigencia								
Ensayo Marshall (IRAM 6845)	N° golpes por cara (1)	75							
	Estabilidad	> 10 kN							
	Relación Estabilidad-Fluencia (2)	2,5 - 4,5 kN/mm							
	Vacios en la mezcla (3)	3 - 5 %.							
	Vacíos del agregado mineral (VAM) (3)	<table border="1"> <tr> <td>Tamaño máximo nominal del agregado pétreo</td> <td>VAM</td> </tr> <tr> <td>TMN 19 mm</td> <td>≥ 14 %</td> </tr> <tr> <td>TMN 12 mm</td> <td>≥ 15 %</td> </tr> </table>		Tamaño máximo nominal del agregado pétreo	VAM	TMN 19 mm	≥ 14 %	TMN 12 mm	≥ 15 %
		Tamaño máximo nominal del agregado pétreo	VAM						
TMN 19 mm		≥ 14 %							
TMN 12 mm	≥ 15 %								
Relación Betún-Vacios (RBV)	..								
	Tipo de capa	RBV (%)							
		Clasificación por tránsito							
	Rodamiento	<table border="1"> <tr> <th>T1</th> <th>T2</th> <th>T3</th> <th>T4</th> </tr> <tr> <td>65 - 75</td> <td>65 - 75</td> <td>65 - 78</td> <td>65 - 78</td> </tr> </table>	T1	T2	T3	T4	65 - 75	65 - 75	65 - 78
T1	T2	T3	T4						
65 - 75	65 - 75	65 - 78	65 - 78						
Base	<table border="1"> <tr> <th>T1</th> <th>T2</th> <th>T3</th> <th>T4</th> </tr> <tr> <td>68 - 78</td> <td>68 - 78</td> <td>70 - 80</td> <td>70 - 80</td> </tr> </table>	T1	T2	T3	T4	68 - 78	68 - 78	70 - 80	70 - 80
T1	T2	T3	T4						
68 - 78	68 - 78	70 - 80	70 - 80						
Resistencia conservada mediante el ensayo Lottman modificado (ASTM D 4867 o AASHTO T 283)		> 80 %							
Evaluación de la resistencia al ahuellamiento "Wheel Tracking Test" (Norma UNE-EN 12697-22 – Procedimiento B) (4)		Requisitos establecidos en la <i>Tabla N°13</i> .							
Contenido mínimo de Cal Hidratada, en peso sobre total del esqueleto granular		1 %.							
Proporciones máximas en volumen de Filler en mezclas (IRAM 1542)		Para ligante asfáltico tipo convencional: Cv/Cs ≤ 1,0 Para ligante asfáltico tipo modificado: Cv/Cs ≤ 1,1 Se limita la proporción relativa de rellenos minerales de aporte cuya concentración crítica sea inferior a 0,22 (Cs<0,22) a un máximo de 2% en peso de la mezcla.							

Figura 3 Especificación para carpetas de rodamiento

El ensayo de rueda cargada ha sido desarrollado para evaluar, de forma racional, la performance de una mezcla frente al ahuellamiento en laboratorio. La configuración del ensayo consta básicamente de una rueda, la cual aplica una carga sobre la mezcla asfáltica a la vez que circula sobre esta. Los requisitos de la resistencia al ahuellamiento se establecen en la Tabla 13 del PETG de VN, Figura 4.

Tabla N°13 - EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AHUELLAMIENTO "Wheel Tracking Test" (Norma ENE-EN 12697-22 – Procedimiento B)				
Pendiente Media de Deformación (WTS AIRE) [mm/1000 ciclos de carga] en el intervalo de 5000 a 10000 ciclos y Profundidad Media de la Huella (PRD) [%]				
Tipo de capa	Clasificación por tránsito			
	T1	T2	T3	T4
Rodamiento	WTS aire ≤ 0,08 PRD ≤ 5%	WTS aire ≤ 0,10 PRD ≤ 8%	WTS aire ≤ 0,12 PRD ≤ 10%	WTS aire ≤ 0,15 PRD ≤ 10%
Base	WTS aire ≤ 0,10 PRD ≤ 8%	WTS aire ≤ 0,12 PRD ≤ 10%	WTS aire ≤ 0,15 PRD ≤ 10%	WTS aire ≤ 0,15 PRD ≤ 12%

Figura 4 Requisitos de resistencia al ahuellamiento

Los requisitos de los materiales componentes de la mezcla asfáltica se encuentran diferenciados de acuerdo a la ubicación en el paquete estructural (base o rodamiento) que cada una ocupa y de la clasificación del tránsito prevista. El PETG de VN presenta la clasificación por tránsito en su Tabla 2, Figura 5.

Tabla N°2 – CLASIFICACIÓN POR TRÁNSITO				
---	Clasificación por tránsito			
	T1	T2	T3	T4
Índice de tránsito (IT)	≥1500	800-1499	200-799	≤199

Figura 5 Clasificación del tránsito

Siendo:

IT = Índice de tránsito = TMDAd * % Pd

TMDAd Transito Medio Diario Anual de Diseño

% Pd = % de pesados de diseño

1.2 Material geosintético frente al ahuellamiento

El material geosintético, en particular las geogrillas o geomallas, se utilizan desde hace tiempo en el refuerzo de pavimentos. Se los coloca en las capas de bases y subbases con el objeto de aumentar la capacidad soporte de las mismas mediante la confinación que ofrece al agregado que compone dichas capas, Figura 6.

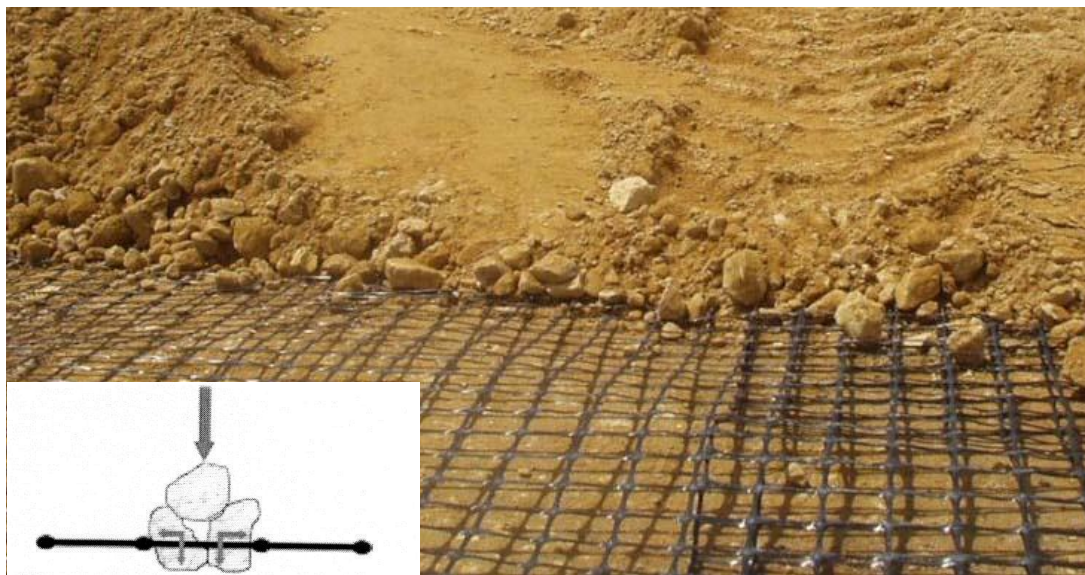


Figura 6 Confinamiento del agregado

Exitosamente se lo introduce entre capas asfálticas buscando impedir el fenómeno conocido como reflejo de fisura, el cual consiste en el inicio y propagación de una fisura, existente o coincidente con una junta constructiva en el viejo pavimento, hacia la nueva capa colocada como refuerzo como consecuencia del paso del tránsito y las condiciones climáticas, logrando excelentes resultados comprobados en distintas investigaciones y corroborado en campo, Figura 7. [6]



Figura 7 Geomalla en carpeta asfáltica

A la fecha existen pocas investigaciones realizadas en cuanto a su comportamiento frente al ahuellamiento, en su mayoría son trabajos de campo donde se evidencia el beneficio de aplicación las geomallas particularmente [7,8].

En el LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional de La Plata, se viene estudiando desde hace tiempo la actuación de los materiales geosintéticos en cuanto al reflejo de fisuras. En esa línea de investigación es que se evidenció una conducta del material que llamo la atención, su comportamiento frente al ahuellamiento. Por ello es que se realizaron algunas primeras experiencias con el equipo de rueda cargada tratando de representar el ahuellamiento de una mezcla del tipo CAC D R 19 AM3 con y sin la interposición de diferentes materiales geosintéticos.

2 Metodología y materiales

2.1 Ensayo de rueda cargada

Para certificar el comportamiento de los materiales geosintéticos ante el fenómeno de ahuellamiento, se utiliza el equipo de rueda de carga, Wheel Tracking Test, Figura 8.

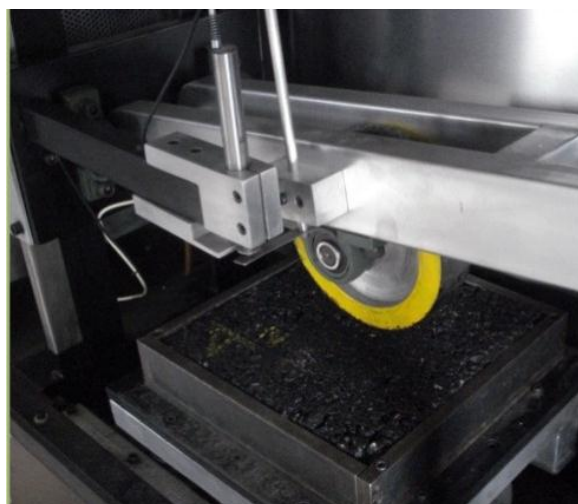


Figura 8 Equipo de rueda cargada del LEMaC

El ensayo se caracteriza por aplicar una carga dinámica que simula la carga del tránsito a través de una rueda, sobre una probeta prismática de 300x300 mm y 50 mm de espesor. El ensayo registra las deformaciones verticales sufridas por la mezcla a lo largo de 10.000 ciclos de carga; dicho ensayo se efectúa a 60 °C.

La carga de la rueda es de 700 N, la cual se aplica con una frecuencia de movimiento de 26,5 ciclos por minuto. Las características de la rueda están dadas por su diámetro 200 mm, su ancho 50 mm, el espesor de la cubierta 20 mm y la dureza de la cubierta 80 IRHD (International Rubber Hardness Degrees). Bajo estas características cumple con la Norma UNE EN 12697-22 (Procedimiento B).

2.2 Materiales utilizados en la confección de probetas

2.2.1 Mezcla asfáltica

La mezcla adoptada como base y refuerzo de los sistemas es un Concreto Asfáltico Convencional Denso, tamaño máximo de agregado 19 mm (3/4”), de denominación CAC D R 19 AM3, según las Especificaciones Técnicas Generales de Vialidad Nacional, edición 2017.

La Tabla 1 presenta los resultados de los ensayos de laboratorio sobre la mezcla asfáltica. Los mismos se obtienen mediante el ensayo Marshall (IRAM 6845), el cual permite caracterizar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica.

Tabla 1 Resultados y exigencias para un Concreto Asfáltico CAC D R 19 AM3

Ensayo	Resultado	Exigencia
Vacíos en la mezcla (%)	3,5	3 – 5
Relación Betún - Vacíos (%)	73	65 – 75
Estabilidad (KN)	10,2	>10
Vacíos de agregado mineral (VAM en %)	15	>14
Relación Estabilidad – Fluencia (KN/mm)	3,5	2,5 – 4,5

Nota: El cemento asfáltico empleado es del tipo CA-30 en un 4,9%.

2.2.2 Riego de adherencia

El material utilizado como riego asfáltico (ECRR-M) es brindado por una importante empresa del país. Se realizó la caracterización según normativa IRAM de Argentina; 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	37,5
Carga de partículas	-	6690	positiva
Residuo sobre tamiz IRAM 850 mm	g/100g	6717	0,06
Ensayos sobre el residuo de destilación			
Penetración del residuo	0,1 mm	6576	70
Ductilidad	cm	6579	>100

La cantidad de riego asfáltico se varió de acuerdo al tipo de material geosintético utilizado en la interfase de las capas. Para el caso de la probeta de referencia se aplicó a razón de $0,5 \text{ l/m}^2$, para el material geocompuesto la dotación aplicada fue de $0,25 \text{ l/m}^2$ según recomendaciones del proveedor, mientras que para la aplicación de la geomalla la dotación empleada fue de $0,7 \text{ l/m}^2$.

Para el caso particular del geotextil no tejido este requiere una dotación mayor, primero para saturar el material, luego para brindar la adherencia entre capas. La dotación de riego empleada para este material fue de $1,5 \text{ l/m}^2$, luego de determinar su porcentaje máximo de saturación según Norma IRAM 78027: Determinación de la retención de asfalto por los geotextiles empleados en pavimentación asfáltica en todo su ancho.


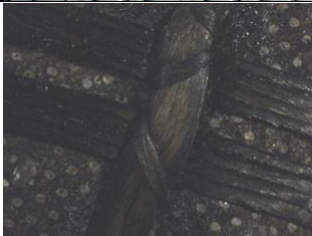

2.2.3 Materiales geosintéticos

Los materiales seleccionados para analizar la resistencia al ahuellamiento, ampliamente utilizados en obras viales como sistemas anti reflejo de fisuras, son caracterizados siguiendo la normativa IRAM de Argentina.

La Tabla 3 presenta una descripción de la conformación de los materiales y su resistencia a tracción mediante banda ancha (Norma IRAM 78012).

La resistencia a tracción en (KN/m) y la deformación en (mm) es obtenida de los materiales recuperados luego de ser sometidos a la compactación de la mezcla asfáltica a $160 \text{ }^\circ\text{C}$ sobre los materiales geosintéticos, buscando representar las condiciones a las cuales se encuentran expuestos en obra.

Tabla 3 Materiales geosintéticos empleados

Material	Denominación	Tracción en sentido del rollo (IRAM 78012)	
		Carga (KN/m)	Deformación (mm)
	Geocompuesto conformado por un geotextil tejido en polipropileno adosado a una membrana asfáltica	29,49	28,95
	Geomalla conformada por fibras en poliéster unidas por puntos a un geotextil no tejido en polipropileno, malla cuadrada de 40x40 mm con recubrimiento bituminoso	36,40	13,87
	Geotextil No Tejido compuesto por fibras en poliéster orientadas en forma aleatoria	11,98	93,76

El material geotextil no tejido se embebe generalmente en un riego de emulsión total con una dotación de $1,2 \text{ l/m}^2$ a $1,5 \text{ l/m}^2$, según circunstancia de obra, con el objeto de brindar una barrera impermeable y actuar como retardador de fisura.

La resistencia declarada corresponde para un geotextil no tejido de 150 g. embebido con riego asfáltico a razón de 1,5 l/m² a 60 °C.

2.3 Confección de probetas

Con los materiales citados se han confeccionado serie de probetas para ser ensayadas en el equipo de rueda cargada, los mismos se presentan en la Tabla 4.

Los diferentes sistemas fueron constituidos de la siguiente manera: una base asfáltica de 2 cm de espesor, compactado mediante un pisón manual marca METABO, simulando un pavimento existente, un riego de liga a razón de 0,5 l/m² a 1,5 l/m², dependiendo del tipo de material geosintético; la colocación del material geosintético (verificando que no queden arrugas) y la compactación de una capa de mezcla asfáltica del tipo CAC D R 19 AM3 de 5 cm de espesor mediante el equipo roller compact.

Tabla 4 Sistemas de probetas

Sistema	Identificación	Referencia
1	C/C, S/GST	con contención; sin geosintético
2	S/C, C/GC	sin contención; con geocompuesto
3	S/C, C/GR	sin contención con geomalla
4	C/C, C/GC	con contención; con geocompuesto
5	C/C, C/GR	con contención; con geomalla
6	C/C, C/GTX	con contención con geotextil
7	S/C, S/GST	sin contención; sin geosintético
8	S/C, C/GTX	sin contención con geotextil

3 Análisis y resultados

3.1 Ensayo de rueda cargada (Norma UNE EN 12697-22, procedimiento B)

Con los datos recopilados del ensayo se evalúan diferentes parámetros, los mismos se describen en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros obtenidos de los ensayos de rueda cargada

Sistema	Datos del ensayo					
	d10000	d5000	WTS _{aire}	RD _{aire} (0,1mm)	PRD _{aire} (%)	FEF
1	4,78	3,95	0,166	4,78	9,56	1,00
2	3,22	2,48	0,148	3,22	6,44	1,75
3	2,38	1,56	0,164	2,38	4,76	2,37
4	1,81	1,55	0,052	1,81	3,62	2,64
5	0,95	0,81	0,028	0,95	1,90	5,03
6	4,49	3,67	0,164	4,49	8,98	1,06
7	5,65	4,82	0,166	5,65	11,30	1,00
8	5,15	4,30	0,170	5,15	10,30	1,09

Siendo:

$$WTS_{aire} = \text{Wheel-tracking slope (mm/10}^3 \text{ ciclos de carga)} = (d10000 - d5000) / 5$$

$$RD_{aire} \text{ es la profundidad de huella luego de 10 000 ciclos de carga} = d10000$$

PRD_{aire} es la profundidad de huella proporcional = $(RD_{aire} * 100) / H$, donde es el espesor de la capa superior, $H = 50$ mm
FEF = Factor de efectividad

La Figura 9 muestra las curvas obtenidas por el software de los ensayos mediante el equipo de rueda cargada (WTT), mientras que en la Figura 10 puede observarse las probetas luego de ser ensayadas.

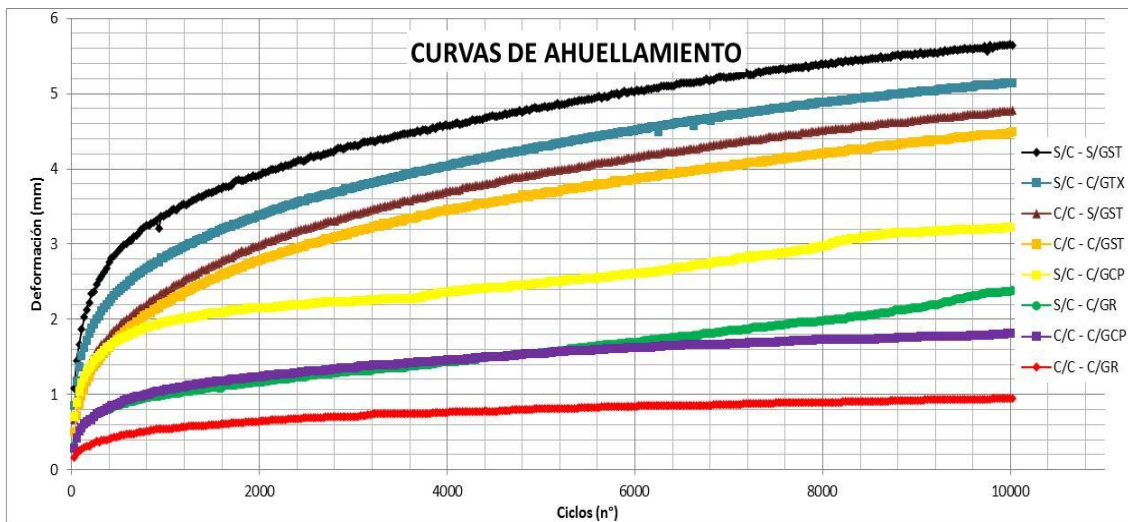


Figura 9 Curvas de ahuellamiento, deformación en mm, en función de los ciclos de carga

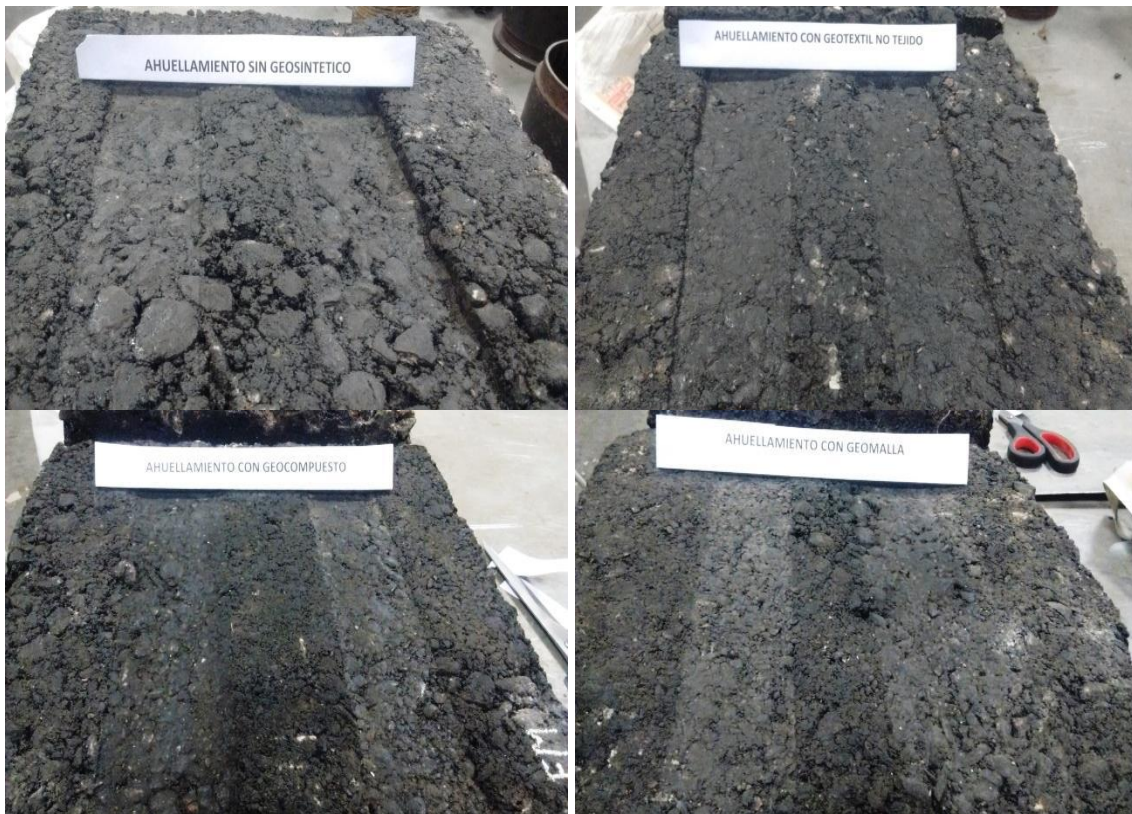


Figura 10 Ahuellamiento para los diferentes sistemas

Se observa la variación en la pendiente media de deformación (WTS_{aire}) para los distintos sistemas, siendo los sistemas 4 y 5 los que mejor se comportaron presentando una profundidad de huella de 1,81 y 0,95 mm respectivamente, con $WTS_{aire} < 0,06$ y un $PRD_{aire} < 4\%$, valores aceptables dentro de los requisitos para la resistencia al ahuellamiento para una clasificación por tránsito T1 ($IT \geq 1500$).

Se puede determinar de esta manera un factor de efectividad (FEF) entre los sistemas que consideran la interposición de un material geosintético y aquel sistema considerado patrón o referencia que no considera al material geosintético (Sistema 1 y Sistema 7). En la Tabla 5 puede verse que el Sistema 5, el cual considera la interposición de una geomalla, tiene un beneficio 5 veces superior en cuanto a la resistencia al ahuellamiento cuando la probeta se encuentra contenida, mientras que para este sistema sin la contención lateral del molde el beneficio es de 2,4 veces.

En los sistemas que no tuvieron contención lateral (Sistema 2, Sistema 3, Sistema 7 y Sistema 8) se observó un leve desplazamiento de la mezcla, lo que puede verse en el trazado de las curvas de ahuellamiento, Figura 9, presentando un incremento en la profundidad de huella marcado en la cantidad de ciclos, manteniendo la pendiente de ahuellamiento seguidamente hasta finalizar el ensayo (Sistema 2 y Sistema 3).

Para el caso que consideró el geotextil no tejido sin contención, Sistema 8, este comportamiento no fue apreciado suponiendo una deformación constante del surco de huella debido a que el material no otorgó ayuda alguna sino todo lo contrario, favoreció el desplazamiento a través del plano de discontinuidad que el geotextil genera en la interfase de las capas.

De acuerdo a la bibliografía internacional analizada [9,10], se ha comprobado que dentro de los materiales geosintéticos que el mercado ofrece, las geomallas presentan un beneficio del 14% en la reducción de las deformaciones permanentes verticales. En este sentido se contradicen en afirmar que tanto la rigidez del material geosintético como la diferencia en la apertura de la malla, tiene incidencia en la reducción del ahuellamiento [11].

Los materiales geosintéticos son implementados como refuerzo de la mezcla asfáltica, afirmando algunos autores que puede reducirse el espesor de las mismas debido al incremento en un 10 % del módulo de elasticidad que ofrecen a la mezcla asfáltica [10].

4 Conclusiones preliminares

Se puede considerar que el beneficio evidenciado por la geomalla está dado por la restricción lateral que el material geosintético ofrece y que particularmente está ligado al espesor de las fibras que componen el material, las cuales brindan mayor rugosidad al movimiento de flujo que se produce en la masa asfáltica, a diferencia de lo que suponen otros autores sobre que esto se debe a que el agregado se introduce dentro de la malla del material.

La resistencia a tracción del material tiene fundamental importancia en el desarrollo del ahuellamiento, ya que a mayor rigidez del geosintético menores serán las tensiones de corte en correspondencia con la huella, por ende menor la deformación vertical.

De acuerdo a los resultados preliminares alcanzados el material geosintético parece tener incidencia en el ahuellamiento, siendo la geomalla la que brinda mayor beneficio por su conformación estructural, la cual permite contener o restringir el desplazamiento del flujo por corte que se presenta en correspondencia con la carga del tránsito, debiendo considerar el efecto de fatiga para una mayor performance del geosintético.

Los demás materiales geosintéticos como el geocompuesto y el geotextil no tejido, Tabla 3, sin bien tienen un pequeño beneficio, su incidencia ante el ahuellamiento es menor producto de la diferencias en sus propiedades mecánicas (resistencia y deformación) y particularmente por la conformación estructural del material, el cual genera un plano liso contribuyendo al desplazamiento lateral de la mezcla, favoreciendo de esta manera la deformación vertical.

Actualmente se están llevando a cabo ensayos de resistencia al ahuellamiento utilizando geomalla de apertura de malla 40x40 mm, ubicándola a diferente nivel de un refuerzo asfáltico de 5 cm de espesor buscando determinar, dentro de la zona de flujo por corte en correspondencia con la carga aplicada, la incidencia del material geosintético sobre la deformación permanente.

5 Referencias

- [1] Botasso H. G. et al. "Medición del ahuellamiento en mezclas densas en caliente". XXXVI Reunión del Asfalto. Buenos Aires (Argentina) pp. 1-12, 2010.
- [2] Nieto J. P., Rebollo O. R. "Suceptibilidad al ahuellamiento en carpetas asfálticas". Tesis de becarios de investigación del LEMaC 156 p. 2009.
- [3] Morea F. "Deformaciones permanentes en mezclas asfálticas, problemática y medición en laboratorio", Tesis de becario doctoral Conicet. 11 p. 2009.
- [4] Nieto J. P., Rebollo O. R. "Criterios de valorización de capas asfálticas en caliente para carpetas asfálticas y resistencia al ahuellamiento". Tesis de becarios de investigación del LEMaC ISBN: 978-950-42-0133-5. 172 p. 2010.
- [5] Pliego de Especificaciones Técnicas Generales. Vialidad Nacional, 68 p. Edición 2017.
- [6] Delbono H. L "Grillas poliméricas en sistemas anti reflejo de fisuras considerando solicitaciones dinámicas". Tesis doctoral. 376 p. 2014.
- [7] Bertulienė L. et al. "Research of rut depth in asphalt pavements reinforced with geosynthetic materials". The 8th International Conference, Vilnius (Lithuania) pp. 1039-1043, 2011
- [8] Mounes S. M. et al. "Improving rutting resistance of pavement structures using geosynthetic: An overview". The scientific world journal. Vol. 2014, Article ID 764218, 6 p, 2014.
- [9] Mounes S. M. et al. "Evaluation of permanent deformation of geogrid reinforced asphalt concrete using dynamic creep test" Geotextiles and Geomembranes. Vol. 44. pp. 109-116. 2016.
- [10] Laurinavicius A., Oginkas R. "Experimental research on the development of rutting in asphalt concrete pavement reinforced with geosynthetic materials". Journal of civil engineering and management. Vol XII, N 4, pp 311-317. 2006.
- [11] Guler E., Atalay I. "The Effects of Geosynthetics on Mitigation of Rutting in Flexible Pavements". E&E Congress 2016, 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. ID 101. 2016.