

# DESEMPEÑO DE GEOCOMPUESTO EN UNA REHABILITACIÓN Y VALORACIÓN DE SU APORTE ESTRUCTURAL

H. Gerardo Botasso<sup>1</sup>, H. Luis Delbono<sup>2</sup>, Enrique A. Fensel<sup>3</sup>, J. Julián Rivera<sup>4</sup>, David Pisano<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Director LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Fac. Reg. La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina, gbotasso@frlp.utn.edu.ar

<sup>2</sup> Integrante LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Fac. Reg. La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina, delbonoluis@hotmail.com

<sup>3</sup> Integrante LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Fac. Reg. La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina, efensel@frlp.utn.edu.ar

<sup>4</sup> Subdirector LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Fac. Reg. La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina, jrivera@frlp.utn.edu.ar

<sup>5</sup> Director FAMEIM SA, Rivera 26 - 1º Piso B, Villa Adelina, San Isidro, Bs. As., Argentina, dpisano@fameim.com

## Resumen

En otras ocasiones el grupo de trabajo ha presentado desarrollos en los que se mostraba el empleo de geocompuestos con el propósito de modificar la velocidad de propagación en capas asfálticas de fisuras provenientes de capas subyacentes rehabilitadas. Para ello se han utilizado experiencias de laboratorio empleando equipos dinámicos que permitieron modelizar los mecanismos de deterioro producidos.

Después de algo más de un año de una de las experiencias exitosas en la Autopista Américo Vespucio Norte, de la red de accesos a Santiago de Chile, en base a tramos homogéneos, con y sin la incorporación del geocompuesto, se realizaron mediciones de deflexiones con el FWD donde se apreció un incremento en el número estructural efectivo.

A raíz de esto se planteó el presente trabajo, que pretende analizar si el aporte realizado por el geocompuesto en campo es relacionable con los resultados obtenidos en laboratorio mediante un ensayo característico, denominado de Módulo de Rigidez, adaptando el equipo de módulo dinámico según la norma Europea EN 12697/26. El ensayo se utiliza originalmente para evaluar la resistencia a la fatiga de materiales bituminosos para pavimentación.

Se busca conocer si el aporte que un geocompuesto genera en el coeficiente de aporte estructural del refuerzo es predecible mediante esta sistemática de ensayo.

**Palabras Clave:** geocompuesto, rehabilitación vial, estructura vial.

## 1 Introducción

La Autopista Vespucio Norte conecta el sector de El Salto (comuna de Huechuraba) con la Ruta CH-78, a través de la Avenida Américo Vespucio. La misma cuenta con una extensión de 29 km, presentando 17 pódicos de control de acceso. Da cobertura a 8 comunas de la ciudad capital (Huechuraba, Recoleta, Conchalí, Quilicura, Pudahuel, Renca, Cerro Navia, Maipú) y posee como principales conexiones a la Ruta de Los Libertadores (vinculación con Mendoza), Ruta 68, Ruta 78, Autopistas Urbana de Santiago, Túnel San Cristóbal, Panamericana Norte, Ciudad Empresarial, Aeropuerto, Mall Plaza Norte, etc.) [1].

Esta vía, que fue inaugurada el 4 de enero de 2006, se constituye en una de las principales arterias de conexión de la ciudad de Santiago de Chile.

Se trata de una vía de doble calzada indivisa multicarril, Figura 1, que sirve a tipologías de tránsito tanto liviano como pesado [2], razón por la cual en su estructura de pavimentos interesa conservar adecuada regularidad superficial, que permita desarrollar elevadas velocidades, resistiendo a altas cargas desplazándose a baja velocidad.



Figura 1. Vista de la Autopista Vespucio Norte  
Fuente: Plataforma Urbana. [www.plataformaurbana.cl](http://www.plataformaurbana.cl)

En el año 2011 se realizó una intervención sobre la Pista 6, Tramo 5 entre las progresivas 16+680 y 17+240 y en el año 2014 se realizó otra intervención sobre la Pista 5, Tramo 5 entre las progresivas 14+150 y 17+450 en las cuales se aplicó en sectores un geosintético del tipo “geocompuesto” (conformado por un geotextil tejido y una membrana asfáltica), y en otros sectores la solución de refuerzo, pero sin la inclusión del geocompuesto, a manera de blanco de la prueba. En el año 2014 se practicaron deflectometrías con FWD en estos tramos homogéneos, con y sin la incorporación del geocompuesto. El lugar donde se realizaron las intervenciones se observa coloreado en naranja en la Figura 2. De aquí en más se hace referencia a las intervenciones efectuadas en la Pista 6, quedando la restante para futuras presentaciones. En el Punto 3.2 “Experiencia realizada en campo” se detalla la estructura de estos pavimentos.

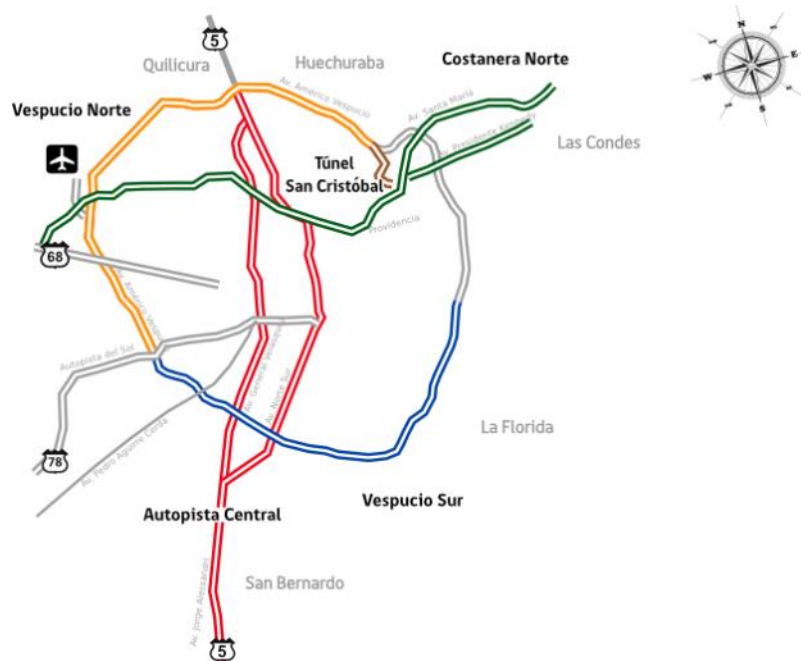


Figura 2. Red de Accesos de Santiago de Chile

El geocompuesto se aplicó en este tramo con el fin de retardar la propagación de fisuras existentes hacia la capa superior, contribuyendo con la disminución de la ruptura por fatiga de la capa asfáltica, la que se inicia con la unión de microfisuras inherentes a la mezcla, que por un proceso continuo de propagación originan las macrofisuras.

Generada la fisura en una capa asfáltica, esta crece en un plano perpendicular al de la dirección de la tensión principal de tracción, lo cual ocurre cuando la tensión en la extremidad de la fisura sobrepasa la tensión cohesiva teórica del material. Finalmente se produce la fractura final, donde la fisura alcanza un tamaño crítico atravesando todo el espesor de la capa asfáltica [3, 4].

El aumento del espesor de la capa asfáltica redonda en un incremento de la vida de servicio, para igual deformación de tracción  $\varepsilon_t$  en la fibra inferior de la capa asfáltica, en razón de que el espesor que debe atravesar la fisura resulta mayor, requiriendo un número adicional de ciclos de carga.

Al incorporar el geocompuesto entre las capas, este toma las cargas en su estructura trabajando a tracción, disipando las tensiones en la extremidad de la fisura aumentando así, la vida útil del pavimento al retardar el progreso continuo de la fisura [5].

Se presenta el esquema del sistema de rehabilitación realizado en la Autopista Vespucio Norte utilizando geocompuesto, que se observa en la Figura 3.

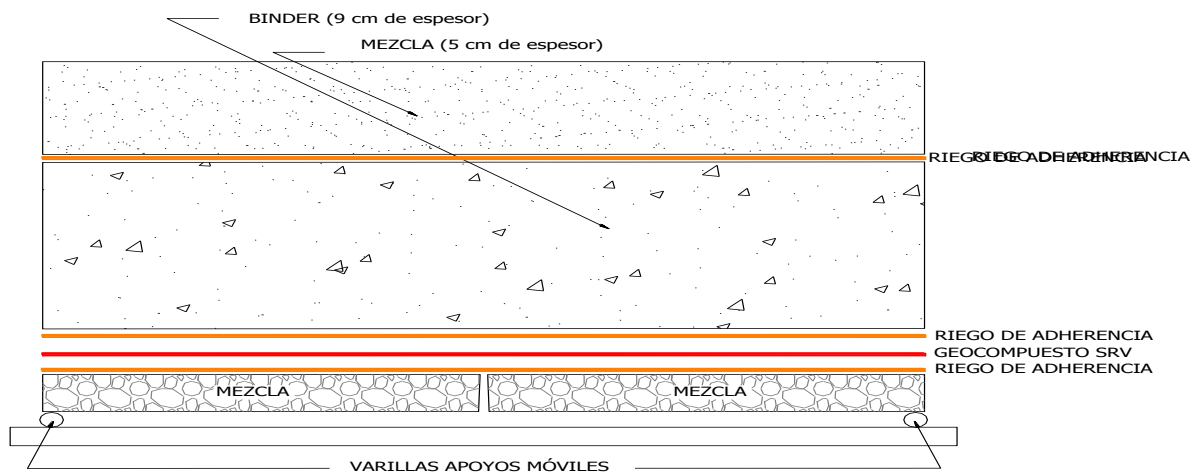


Figura 3. Esquemas de las probetas

## 2 Materiales y métodos

Para los ensayos se han confeccionado tres series de probetas, las primeras incorporan el geocompuesto como elemento retardador de fisuras a las cuales se comparó con la segunda serie de probetas que no incorporan el geocompuesto.

La confección de probetas corresponde a la conformación propuesta y realizada en la rehabilitación de los distintos tramos de la mencionada obra de acuerdo a los espesores y características de la mezcla asfáltica colocada en cada capa.

Las probetas se confeccionaron con los siguientes materiales:

### 2.1 Mezcla asfáltica convencional de base

La formulación de la mezcla asfáltica base se realizó con un espesor de 20 mm, a la que se le generó una fisura sobre su eje medio y respondiendo a las características de la mezcla asfáltica utilizada en obra descrita como capa remanente de base, presentada más adelante en la Figura 10.

### 2.2 Riegos de adherencia

Para el caso en que se utiliza geocompuesto sobre la base asfáltica fisurada, se ejecutó un riego de adherencia con una dotación de  $0,5 \text{ l/m}^2$  de acuerdo a lo realizado en obra. Este riego lo constituye un asfalto diluido de secado rápido.

Una vez curado el riego se colocó sobre dicha capa el geocompuesto, dando una leve compactación y ejecutándose sobre él un nuevo riego con una dotación de  $0,2 \text{ l/m}^2$ .

Para el caso en que no se coloca geocompuesto, en la capa base fisurada y entre la base granular asfáltica de 9 cm y la capa de rodamiento de 5 cm de espesor, se ejecutó un riego de adherencia con emulsión asfáltica modificada a razón de  $0,5 \text{ l/m}^2$ .

Las características de la emulsión se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. 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 a 25 °C	cm	6579	>100

### 2.3 Características del geocompuesto

El geocompuesto utilizado se encuentra conformado por un geotextil tejido en polipropileno adherido a una membrana asfáltica, la cual tiene una protección para asegurar la adherencia en su instalación una vez que se retira la misma, como se ve en la Figura 4. Se realizó la caracterización del geocompuesto en laboratorio, los resultados se presentan en la Tabla 2.

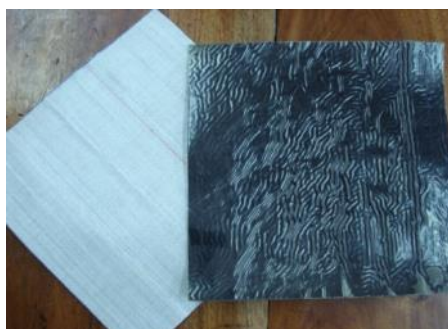


Figura 4. Geocompuesto

Tabla 2. Características del geocompuesto

<b>Características físico-mecánicas</b>		
Ensayo	Resultado	Norma IRAM
Masa por unidad de área	2019 g/m <sup>2</sup> .	78002
Espesor a presiones prefijadas	2,3 mm (a 2 KPa)	78004
Penetración estática con pistón CBR	Carga = 8,6 KN Deformación = 37,1mm	78011
Tracción con probetas anchas en dirección paralela a la fabricación	Carga = 65,8 KN/m Deformación = 19,8 %	78012
Tracción con probetas anchas en dirección perpendicular a la fabricación	Carga = 78,1 KN/m Deformación = 25,3 %	
<b>Características del Cemento Asfáltico Base</b>		
Punto de ablandamiento Anillo B (°C)	117	
Punto de inflamación (°C)	235	
Penetración (0,1 mm)	40	
Recuperación elástica por torsión 25 °C (%)	96	6838
Resiliencia (%)	65	
Viscosidad dinámica 170 °C ( mPas)	630	
Viscosidad dinámica 190 °C ( mPas)	221	



## 2.4 Características de la base granular asfáltica y la capa de rodamiento

Las características de la base granular asfáltica y la capa de rodamiento se presentan en las Figuras 11 y 12, respectivamente.

## 2.5 Secuencia fotográfica de moldeo

En la Figura 5 se presenta la secuencia de la ejecución del moldeo de la probeta con geocompuesto.



Figura 5. Secuencia de moldeo de las probetas

## 2.6 Sistema de apoyo y equipo de carga empleado

Las probetas, confeccionadas con los procedimientos descritos con anterioridad, se colocaron sobre un sistema de apoyo constituido por dos apoyos móviles en sus extremos. Con este apoyo se ha buscado brindar la capacidad de deformación y trabajo de la fisura generada ante las sollicitaciones del ensayo, que

simulan la carga dinámica del tránsito, Figura 6. Para la aplicación de cargas repetidas, se adaptó el equipo denominado Módulo Dinámico, descrito en la Norma UNE EN 12697-26, el cual se muestra en la Figura 7. Este equipo permite interponer como probeta de ensayo un paquete de 16 cm como el utilizado en la rehabilitación planteada y además ejerce la aplicación de una carga punzante, en el mismo plano en donde se encuentra la fisura del modelo.

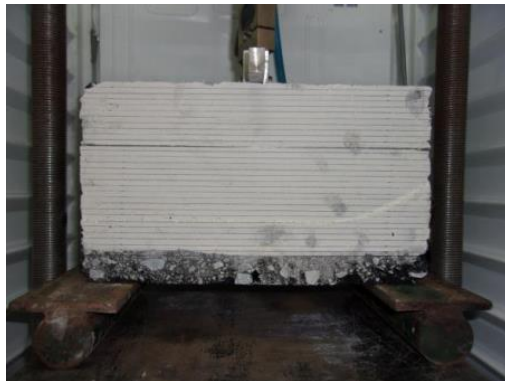


Figura 6. Sistema de apoyos



Figura 7. Equipo empleado

El equipo empleado consta de un actuador neumático, que posibilita la variación de cargas en un rango de 0 kg a 500 kg, y frecuencias entre 0,2 Hz a 20 Hz. Todo el equipo se encuentra en una cámara termostática que permite trabajar a temperaturas comprendidas entre 5 °C y 40 °C y mantener acondicionadas las muestras de tal manera de eliminar las diferencias de comportamiento por susceptibilidad térmica de la mezcla asfáltica.

En este caso se ha desarrollado el ensayo con las siguientes condiciones de borde:

Carga Máxima  $P = 500$  kilogramos

Frecuencia  $F = 0,5$  Hz

Temperatura  $T = 25 \text{ °C} \pm 0,5 \text{ °C}$ .

Datos de las Probetas: Altura:  $h = 16$  cm; Ancho:  $a = 10$  cm; Largo:  $l = 30$  cm

### 3 Resultados

#### 3.1. Experiencias en laboratorio

Se planteó la comparativa entre el sistema con geocompuesto y sin geocompuesto, midiendo el avance de la propagación de las fisuras, cargando secuencialmente las probetas, con el objeto de constituir curvas que grafiquen el avance de la fisura en función de los ciclos de carga. Para el caso en que se colocó el geocompuesto, no se logró identificar una fisura rectora a medir en concordancia con la fisura generada, por lo que la curva para este caso no es concluyente en su desarrollo, sino que refleja uniones de microfisuras que fueron formando macrofisuras a través de todo el espesor de las capas planteadas.

En la Tabla 7 se expresan los valores promedios obtenidos del avance de las fisuras en función de las capas componentes del sistema, y en la Figura 8 se presenta el gráfico de evolución de las fisuras en función de los ciclos de carga. La Figura 9 se compone de imágenes tomadas durante los ensayos, para el modelo sin geocompuesto (a la izquierda) y con geocompuesto (a la derecha)

Tabla 7. Resultados de propagación de fisuras por carga repetida

	Sistema sin geosintético	Sistema con geosintético
	Promedio	
Período de climatización a 25°C	2 hs	2 hs
Ciclos que aparece la primer fisura	5000	5000
Ciclos que aparece la fisura sobre capa 9 cm	31300	8850
Ciclos que aparece la fisura sobre capa 5 cm	65000	13450
Ciclos que aparece la fisura en la superficie	7600	15990

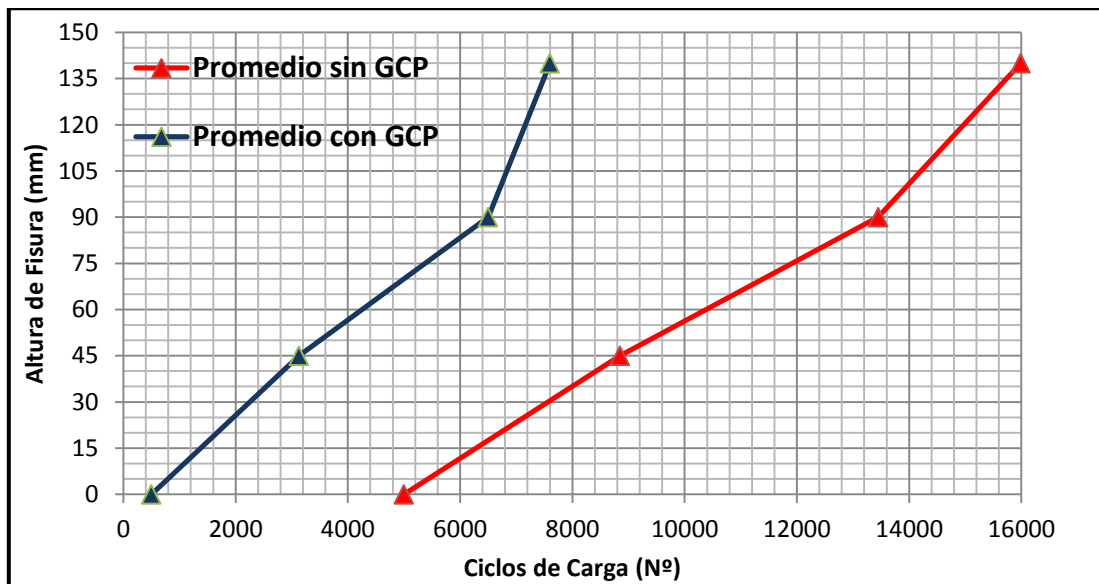


Figura 8. Curva evolución de las fisuras

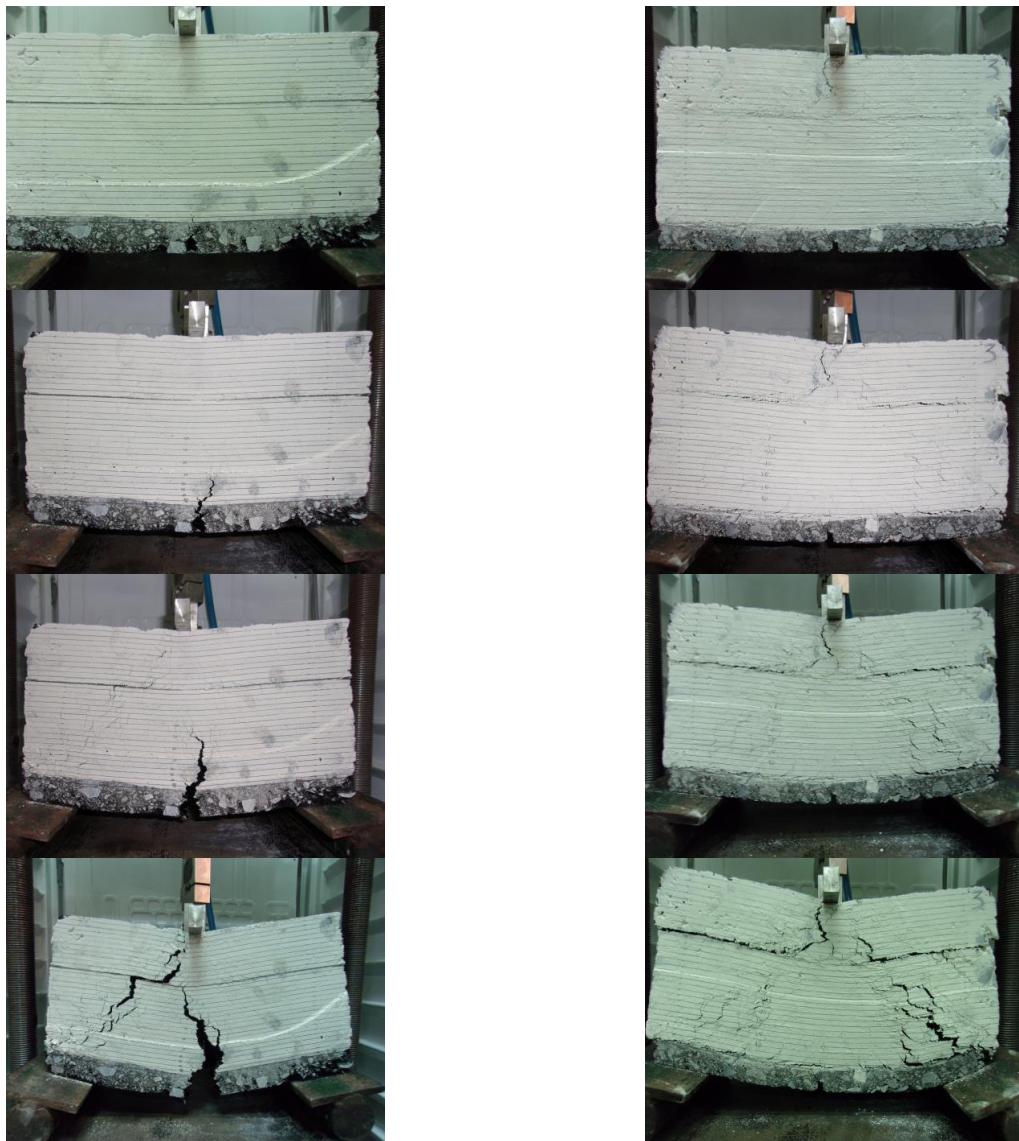


Figura 9. Secuencia fotográfica de ensayos



Del análisis comparativo se puede decir que el sistema sin geocompuesto, se comenzó a fisurar alrededor del ciclo número 500 en promedio de tres probetas, apareciendo una fisura en la fibra más traccionada de la capa de mezcla asfáltica inferior. La fisura tuvo su evolución hasta la llegar a la superficie en 7600 ciclos. En cuanto al sistema con geocompuesto, no se registró aparición de fisuras hasta los 5000 ciclos en promedio en la fibra más traccionada de la capa de mezcla asfáltica de 90 mm de espesor. No se evidenció una fisura que pueda seguirse su camino hacia la superficie, sino que se observaron varias microfisuras que fueron uniéndose hasta llegar a la superficie, esto llevó 15990 ciclos.

### 3.2. Experiencias en campo

Como ya se dijera, a manera de una experiencia en campo del incremento esperable en la respuesta estructural con la utilización del geocompuesto, se realizan tramos de prueba comparativos que se describen a continuación.

La estructura del pavimento en el tramo de prueba registraba originalmente la colocación de capas asfálticas en un espesor promedio de 24 cm, sobre capas de base granular en espesor promedio de 22 cm y la subrasante natural [6]. En la Tabla 8 puede observarse los resultados de estratigrafía obtenidos mediante una calicata que fuera oportunamente realizada, previo a las intervenciones de prueba, en donde pueden observarse estos valores señalados.

Tabla 8. Estratigrafía previa al tramo de prueba

CALICATA Nº: 2		KM.: DM 17.100-17.200		Iza.eje(m):		En el eje:		Der.eje(m):		Prof. Total(m): 4 metros		
Prof. Napa de Agua(m):		Fecha: 06-02-2011				Reconoció: Eliseo Orellana						
PROFUNDIDAD	Desde (m)		0,00	HQR 1	0,24	HQR 2	0,46	HQR 3	4,00	HQR 4	0,00	HQR 5
	Hasta (m)		0,24	ESP. 0,24	0,46	ESP. 0,22	4,00	ESP. 3,54		ESP. -4,00		ESP. 0,00
GRANULOMETRÍA ESTIMADA	TOTAL	T. Máx. (°)										
		Bolones(>80mm)										
	Fracción Menor que tamiz 80mm	Grava (%)			59		10					
		Arena (%)			38		68					
		Fino (%)			3		22					
Color en estado natural / Olor				Gris		Blanquisco						
Graduación / Dilatación				Gruesa /P		Fina /						
Plasticidad				Baja		N.P.						
Forma de Partícula / Resistencia Seca				Angular-Chancada/		Angular/						
Humedad				Media		Media						
Consistencia / Compacidad				/ Firme		/Media						
Estructura / Cementación				Homogenea		Homogenea						
Origen				Base Chancada		Terraplen						
Materia Orgánica o Raíces												
Símbolo del grupo U.S.C.S				G.P.		SM						
Nombre Local del Suelo		P. Asfáltico		Base		Pumicita						
Muestreo	N° / Profundidad				0,24-0,46		1,00-1,20					
	Cantidad / Ensayos				Muestra Clasificación		Clas.P-CBR					

Sobre esta estructura se realizó el correspondiente fresado, dejando una capa remanente de base granular asfáltica de aproximadamente 7 cm de espesor, la cual reunía al momento de su colocación en el año 2004 las características en su dosificación Marshall que se detallan en la Figura 10, siendo reconocida mediante la denominación A1351-04 con un contenido óptimo de asfalto del 4,5 % [7].

Luego de la capa asfáltica remanente se colocó entre las progresivas 16+680 y 16+840 un geocompuesto, dejándose desde las progresivas 17+120 y 17+240 sin colocar el geocompuesto, para contar así con los valores de blanco para la prueba.

Paso seguido en ambos tramos, es decir, en aquel en donde se colocara el geocompuesto y donde no fuera colocado, se procedió a la colocación de una base granular asfáltica en un espesor de 9 cm, contando con las características en su dosificación Marshall, que se observan en la Figura 11 correspondiente, contando con un contenido óptimo de asfalto del 4,1 % [8].

Finalmente se colocó una capa de rodadura de 5 cm de espesor, también en ambos tramos, contando con las características en su dosificación Marshall, que se observan en la Figura 12 correspondiente, con un contenido óptimo de asfalto del 5,0 % [9].



PARAMETROS MARSHALL				CERTIFICADO A 1351/04			
75 golpes por cara							Rangos
CA-60/80 *	(% r. ag.)	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	
Densidad	(Kg/m <sup>3</sup> )	2.306	2.321	2.339	2.363	2.358	
DMM	(Kg/m <sup>3</sup> )	2.505	2.487	2.470	2.453	2.437	
Huecos	(%)	7,9	6,7	5,3	3,7	3,2	4 - 8
V.A.M.	(%)	15,2	15,1	14,8	14,4	14,9	Min. 14
Huecos Llenos	(%)	48	56	64	74	78	
Fluencia	(0,01")	10,0	11,0	11,5	12,0	12,9	8 - 14
Estabilidad	(N)	13.653	14.003	14.561	14.307	13.838	Min. 9.000
Relac Estab/Fluencia	(Kg/cm)	5.567	5.191	5.163	4.861	4.385	
Relación Filler/Betún (en peso)		1,71	1,50	1,33	1,20	1,09	
*Procedencia : Probisa con p.e.				= 1.010			
Temperatura compac. probetas				= 145 °C			

MEZCLA DE TRABAJO		(% en peso que pasa)	
Tamiz de 20 mm (3/4")			100
" de 12,5 mm (1/2")		80	- 90
" de 10 mm (3/8")		65	- 75
" de 5 mm (Nº4)		39	- 49
" de 2,5 mm (Nº8)		28	- 36
" de 0,63 mm (Nº30)		13	- 19
" de 0,315 mm (Nº50)		8	- 14
" de 0,16 mm (Nº100)		6	- 10
" de 0,08 mm (Nº200)		4	- 7
CA-60/80	(% ref. agregado)	4,7	+/- 0,5
Densidad Marshall	(Kg/m <sup>3</sup> )	2335	
Temperatura de mezclado	(°C)	153 +/- 3 °C	
Tem. compactación inicial	(°C)	135 +/- 5 °C	

Figura 10. Dosificación Marshall de la base asfáltica remanente

Granulometría de la mezcla de Aridos			
Tamiz mm (ASTM)	Mezcla	Banda de Trabajo	Banda Especificada
20 (3/4")	100	100	100
12.5 (1/2")	87	82 - 92	75 100
10 (3/8")	74	69 - 79	60 85
5 (# 4)	44	39 - 49	35 55
2.5 (# 8)	29	25 - 33	20 35
0.63 (# 30)	14	11 - 17	10 22
0.315 (# 50)	10	7 - 13	6 16
0 16 (# 100)	7	5 - 9	4 12
0.08 (# 200)	5	3.8 - 6.8	2 8

Característica de la Mezcla de Aridos		
		Espec.
Partículas Chancadas (%)	98	Min. 70
Partículas Lajeadas (%)	1	Máx. 15
Desgaste de los Angeles (%)	15	Máx. 35
Índice de Plasticidad	NP	NP
Sales Solubles (%)	ND	Máx. 3
Desintegración en Sulfato de Sodio	0.8	Máx. 12
Equivalente de Arena (%)	63	Min. 45
Densidad Real Seca (kg/m <sup>3</sup> )	2.654	
Adherencia con CA 24		
Metódo Estático (%)	+95	Min 95
Riedel -Weber (escala 0-10)	2-7	0 - 5

	3.5	3.8	4.1	4.5	5.0	MIN.	MAX.
Contenido de Asfalto (ref. árido %)							
Estabilidad (N)	8123	8855	9210	8824	8149	8000	-
Fluencia (0 25 mm)	9.3	10.1	11.2	12.6	14.2	8.0	16.0
DMM, kg / m <sup>3</sup>	2.518	2.508	2.497	2.483	2.466		
Huecos en la Mezcla (%)	8.2	7.4	6.4	6.2	5.8	3.0	8.0
VAM (%)	15.8	15.7	15.4	16.0	16.7	14	-
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	2.312	2.321	2.336	2.329	2.322	-	-

Figura 11. Dosificación Marshall de la base granular asfáltica nueva

Granulometría de la mezcla de Aridos

Tamiz mm	(ASTM)	Mezcla	Banda de Trabajo		Banda Especificada	
					IV-A-12	
20	(3/4")	100	100	-	100	100
12.5	(1/2")	87	82	-	92	95
10	(3/8")	76	71	-	81	85
5	(# 4)	54	49	-	59	58
2.5	(# 8)	36	32	-	40	42
0.63	(# 30)	17	14	-	20	24
0.315	(# 50)	12	9	-	15	17
0.16	(# 100)	9	7	-	11	12
0.08	(# 200)	6	5.0	-	8.0	8

Característica de la Mezcla de Aridos

		Espec.
Partículas Chancadas (%)	98	Min. 90
Partículas Lajeadas (%)	1	Máx. 10
Desgaste de los Angeles (%)	15	Máx. 25
Índice de Plasticidad	NP	NP
Sales Solubles (%)	ND	Máx. 2
Desintegración en Sulfato de Sodio	0.8	Máx. 12
Equivalente de Arena (%)	63	Min. 50
Densidad Real Seca (kg/m <sup>3</sup> )	2.651	
Adherencia con CA 24		
Método Estático (%)	+95	Min 95
Riedel -Weber (escala 0-10)	2-7	0-5

	4.5	4.8	5.0	5.5	6.0	MIN.	MÁX.
Contenido de Asfalto (ref. árido %)	4.5	4.8	5.0	5.5	6.0	MIN.	MÁX.
Estabilidad (N)	6480	8348	10789	9903	8456	9000	-
Fluencia (0,25 mm)	9.4	9.8	10.5	12.9	15.7	8.0	16.0
DMM, kg / m <sup>3</sup>	2 491	2,481	2,474	2 457	2 441		
Huecos en la Mezcla (%)	6.9	5.8	5.1	4.7	4.5	4.0	6.0
VAM (%)	16.3	15.8	15.7	16.3	17.0	14	-
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	2.319	2.338	2.347	2.341	2.331	-	-

Figura 12. Dosificación Marshall de la capa de rodamiento nueva

En noviembre de 2014 se practicaron sobre los tramos deflectometrías con FWD [7], las cuales permitieron obtener por retrocálculo, considerando una capa asfáltica de aproximadamente 21 cm y una capa de base de aproximadamente 20 cm, los valores de Número Estructural Efectivo  $S_{Neff_i}$  que se observan en la Figura 13.

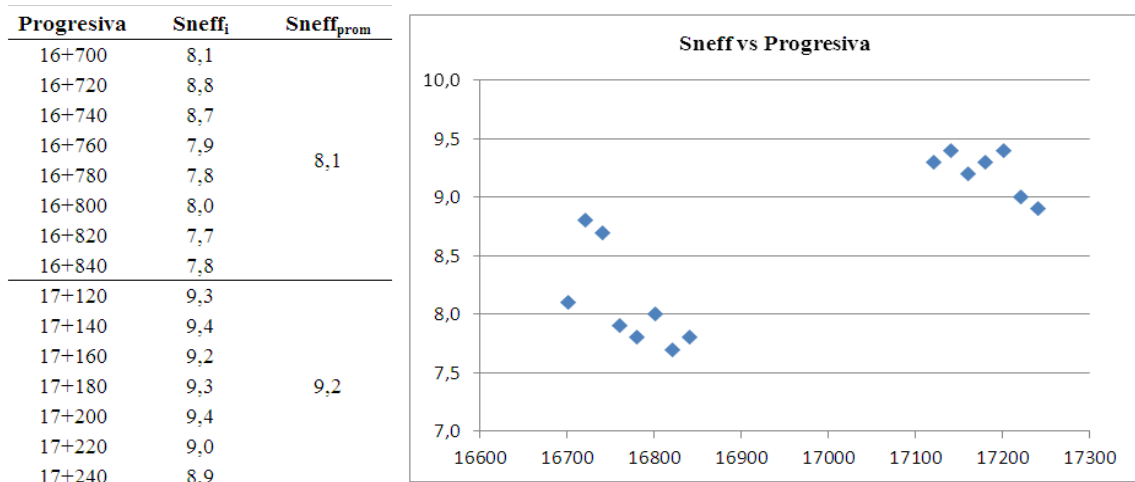


Figura 13. Números estructurales obtenidos y gráfica de Progresivas vs. SNeff

Como puede observarse a idénticas condiciones de paquetes estructurales por debajo y encima de la fibra en donde se ha colocado el geocompuesto, se ha obtenido un incremento significativo del SN, de aproximadamente 1,1.

Como ya se pudo ver en laboratorio, a grandes rasgos, se han obtenidos solicitaciones para la falla final del sistema sin geocompuesto de aproximadamente 7.600 ciclos de carga y en el sistema con geocompuesto de aproximadamente 16.000 ciclos de carga. Es por esto que puede estimarse que entre ambas situaciones se guarda una relación de aproximadamente 2,1.

Para efectuar un análisis análogo con el modelo de campo, se deben establecer primero los parámetros de diseño estructural asociables. Uno de estos parámetros es el módulo resiliente de la subrasante ( $M_r$ ), que surge de las deflexiones efectuadas sobre los tramos de prueba ya comentados. Se debe emplear en tal caso el valor medio de los registros [10], el cual sería como se observa en la Tabla 9 de 79 MPa, es decir 11.455 psi.

Tabla 9. Valores medios de registro de Mr

Progresiva	Mr	Mr <sub>prom</sub>
16+700	83	
16+720	81	
16+740	86	
16+760	74	
16+780	74	
16+800	118	
16+820	73	
16+840	81	79
17+120	63	
17+140	72	
17+160	69	
17+180	88	
17+200	91	
17+220	65	
17+240	64	

De acuerdo a la técnica de retrocálculo de la guía AASHTO93 como Mr de cálculo debe tomarse un valor de 0,33 del registrado deflectométricamente [11], por lo tanto el módulo a considerar en el análisis estructural sería de 3.818 psi.

Por otro lado, es dable considerar como ya se dijera que el paquete estructural remanente, en común para ambas opciones, haya contado originalmente con aproximadamente 20 cm de una base estabilizada granular, con un aporte estructural habitual de 0,14 1/pulg, y a una base granular asfáltica de un espesor remanente de 7 cm, con un aporte estructural habitual de 0,40 1/pulg. Esto llevaría a que se tratara de un paquete con un número estructural original de aproximadamente 2,3. Dado un cierto grado de consumo de fatiga del mismo desde su construcción original, podría suponerse como una aproximación que este paquete contaría en la actualidad con un número estructural que rondaría al menos los 2,0.

Considerando el Mr de cálculo alcanzado, una serviciabilidad inicial de 4,2 recomendada en pavimentos flexibles, una serviciabilidad de 2,5 recomendada para autopistas, una confiabilidad del 95 % para una autopista urbana y un desvío estándar de 0,49 para un pavimento flexible de refuerzo, se arriba a que los ejes equivalentes que resistirían ambas opciones de refuerzo en función de su número estructural efectivo (surge de descontar al número estructural total lo que aporta el paquete remanente previo a la intervención). Estos valores serían los que se observan en la Figura 14 a la izquierda y derecha, para el caso de la solución sin geocompuesto o con geocompuesto respectivamente, es decir:

- Sin geocompuesto (con SN = 8,1 - 2,0 = 6,1) de 5.582.200
- Con geocompuesto (con SN = 9,2 - 2,0 = 7,2) de 20.346.600

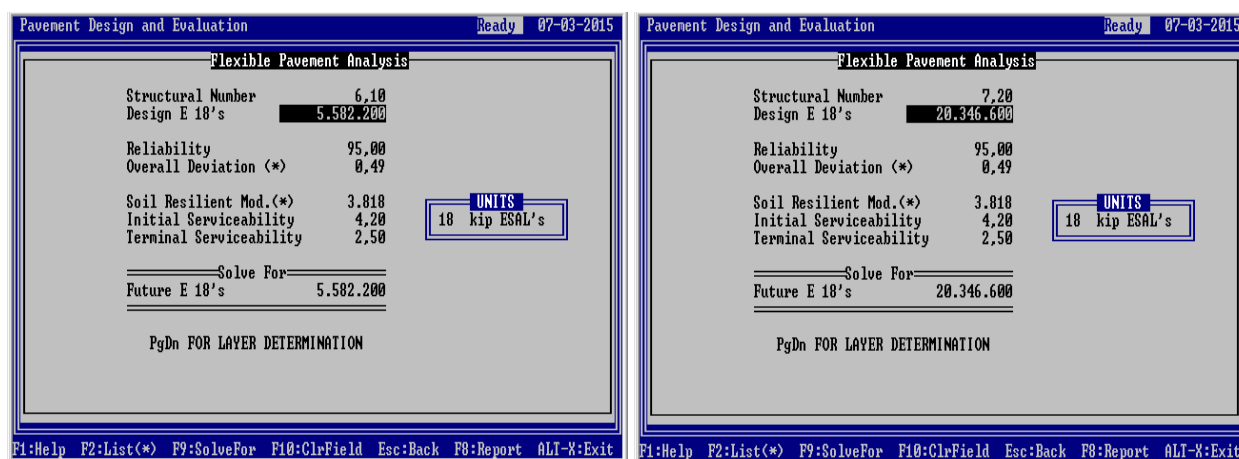


Figura 14. Número estructural sin geocompuesto

Como puede observarse, la relación entre ambas situaciones de repetición de solicitaciones obtenida mediante este modelo estimativo de lo que sucedería en campo, resulta de 3,6. Dadas las simplificaciones efectuadas, puede considerarse que este valor resulta en 1,7 veces la relación observada en los ensayos de laboratorio efectuados.

## 4 Conclusiones

- Los sistemas estudiados han demostrado su performance frente a condiciones homologas de ensayos. En este caso el geocompuesto ha demostrado una mayor eficiencia en el retardo de la fisura.
- Para el caso sin geocompuesto se pudo seguir la evolución de una fisura central en correspondencia con la fisura generada, no así para el caso con geocompuesto, dado que se produjo una fisuración generalizada por la unión de microfisuras producto de la fatiga de la mezcla asfáltica, siendo más evidente en el sector de aplicación de carga hacia los apoyos. En este caso no se evidenció una fisura en correspondencia con la fisura generada en la base del sistema, sino que se produjeron pequeñas fisuras aisladas a lo largo de toda la probeta en la fibra inferior traccionada de la capa de base granular asfáltica, sobre la posición que ocupa el geocompuesto, quien toma los esfuerzos de tracción en esa interface.
- De las experiencias en campo se ha podido extraer un incremento en el aporte estructural entre en sistema con geocompuesto y el que no posee geocompuesto, en un valor de aproximadamente 1,1 (lo que equivaldría por ejemplo a casi 7 cm de mezcla asfáltica en caliente).
- En laboratorio, la cantidad final de ciclos hasta la rotura final del sistema con geocompuesto ronda los 16.000, mientras que en el sistema sin geocompuesto asciende a 7.600, razón por la cual existe una relación de aproximadamente 2,1 en el incremento de ciclos en laboratorio.
- De acuerdo a un análisis análogo efectuado en campo, es predecible entre ambas situaciones una relación de ciclos de 3,6 (en este caso ejes equivalentes).
- Esto lleva a la conclusión de que para esta sistemática de ensayo, la relación en la severidad de las cargas entre las experiencias de campo y las de laboratorio se ubica en el entorno de 1,7 siendo un valor que debería ser observado para su ratificación o no mediante futuras experiencias análogas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a Autopistas Vespucio Norte Express por el soporte brindado para el desarrollo del trabajo, especialmente a los Ingenieros líderes en sus áreas Claudio Fonseca y Rodrigo Aguilar, cuya colaboración hizo posible la participación en el XVIII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto (CILA 2015, Bariloche).

## 5 Referencias

- [1] Autopista Vespucio Norte. Disponible en Web: <http://www.vespucionorte.cl/> [consultado junio 2015].
- [2] Wikipedia. Disponible en Web: [https://es.wikipedia.org/wiki/Autopista\\_Vespucio\\_Norte\\_Express](https://es.wikipedia.org/wiki/Autopista_Vespucio_Norte_Express) [consultado junio 2015].
- [3] Koerner, R. "Designing with geosynthetics", 5º Edición, ISBN 0-13-145415-3, Pearson Prentice Hall, EEUU 2005.
- [4] Delbono, L. "Estudio de grillas poliméricas en sistemas anti-reflejo de fisuras bajo sollicitaciones dinámicas", ISBN 978-987-1896-38-7, LEMaC, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina 2014.
- [5] Zornberg, J. "Sistemas de pavimentos reforzados con geosintéticos", University of Texas at Austin. Disponible en web: [http://www.cae.utexas.edu/prof/zornberg/pdfs/AJ/Zornberg\\_2013d.pdf](http://www.cae.utexas.edu/prof/zornberg/pdfs/AJ/Zornberg_2013d.pdf). [consultado junio 2015].
- [6] Ibarra, G. "Estratigrafía de Terreno N° I-ESC 889, Américo Vespucio Norte", Asistecsa Ingenieros Consultores, Chile 2010.
- [7] Cea, J. "Certificado A1351/04 – Estudio de dosificación de BINDER en caliente con CA60/80 y Tmax 20 mm para Vespucio Norte", Bitumix SA, Chile 2004.
- [8] Zúñiga, R. "Inf. 20-002-09-LF MOP – Diseño mezcla para capa de rodadura", Constructora Asfalcura, Chile 2009.
- [9] Zúñiga, R. "Inf. 10-005-09-LF MOP – Diseño mezcla para capa de rodadura", Constructora Asfalcura, Chile 2009.
- [10] Sepúlveda, C. "Deflectometría de Impacto en Autopista Vespucio Norte Express – Región Metropolitana", Gauss Servicios Especializados en Ingeniería Vial SA, Chile 2014.
- [11] AASHTO. "Guide for design of pavement structures 1993", American Association of State Highway and Transportation Officials, EEUU 1993.