

***EVALUACIÓN REOLÓGICA DE ASFALTOS MODIFICADOS CON
POLÍMEROS***

Ing. Rosana Marcozzi

Lic. Claudio Veloso

Téc. Jorge Coacci

LEMIT-CIC Área Tecnología Vial

Calle 52 y 122 sin número (1900) La Plata, Buenos Aires Argentina

Teléfono: (54)(221) 483-1142 al 44

tecnologiavial@lemit.gov.ar

EVALUACIÓN REOLÓGICA DE ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS

Ing. Rosana Marcozzi¹, Lic. Veloso Claudio², Téc. Coacci Jorge²

1 Investigadora LEMIT-CIC Área Tecnología Vial

2 Profesional de apoyo, LEMIT-CIC Área Tecnología Vial

Calle 52 y 122 sin número (1900) La Plata, Buenos Aires Argentina

Teléfono: (54)(221) 483-1142 al 44

e-mail: tecnologiavial@lemit.gov.ar

Resumen

Las Mezclas asfálticas en pavimentos de alto tránsito y en las rutas de la producción exigen la utilización de materiales de mayor calidad y durabilidad de manera de garantizar transitabilidad en todo momento. Esto ha promovido la amplia difusión y utilización de nuevos asfaltos de mayores prestaciones.

En el presente trabajo se estudia mecánicamente al ligante modificado con polímeros mediante ensayos reológicos. Se analiza su comportamiento desde el punto de vista de la interacción de los materiales componentes con la finalidad de evidenciar su efecto en las propiedades mecánicas y de deformación que presenta el material. El análisis ha incluido mediciones convencionales (penetración, recuperación elástica torsional, viscosidad) y energía de deformación de los ligantes en ensayos de fuerza-ductilidad.

Se ha estudiado también el material luego de ser alterado bajo dos procedimientos normalizados de laboratorio, el horno de envejecimiento en película delgada rotatoria (RTFO), el cual simula el envejecimiento producido en el ligante durante la fabricación y tendido de las mezclas asfálticas, y el horno de envejecimiento a presión (PAV), en el que se pretende reproducir el envejecimiento producido en el ligante durante los años de servicio.

Palabras clave: Asfalto modificado, reología, envejecimiento, polímeros

INTRODUCCION

En los últimos años se ha incrementado el uso de modificadores del asfalto. Son imprescindibles en la fabricación de mezclas especiales como los microaglomerados discontinuos y los pavimentos drenantes, pero su uso también se ha extendido en mezclas de granulometría convencional que requieran mejores prestaciones.

En general, los pavimentos con asfaltos modificados con polímeros son más durables a causa de su menor susceptibilidad térmica, la menor acumulación de deformaciones y a las excelentes condiciones de adherencia que desarrollan con el agregado pétreo.

Los asfaltos modificados con polímeros son clasificados en nuestro país mediante la normativa IRAM 6596, utilizando una batería de ensayos principalmente empíricos, que si bien ha resultado imprescindible para controlar la calidad de asfaltos fabricados en planta, no permite caracterizar eficientemente su comportamiento frente a las sollicitaciones a las que serán sometidos durante su vida en servicio.

En el presente trabajo se presentan resultados de ensayos convencionales y ensayos de fuerza-ductilidad realizados sobre ligantes modificados en laboratorio.

Debido a que los asfaltos alteran su reología original a medida que transcurre su vida de servicio, principalmente por procesos de volatilización durante la fabricación de las mezclas y de oxidación durante sus años en servicio (Bahia et al), se presentan los resultados de los ensayos para los ligantes en tres condiciones:

- ligantes originales
- ligantes luego del RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) y
- ligantes luego del PAV (Pressure Aging Vessel)

El proyecto contempla en subsiguientes etapas, la evaluación de la modificación del asfalto con diferentes polímeros y su relación con el comportamiento en las mezclas asfálticas que los utilicen como ligantes. A su vez, otro de los objetivos es la evaluación del ligante más adecuado para recuperar pavimentos envejecidos, reciclando altas tasas de los mismos y transformándolos en pavimentos flexibles.

EXPERIMENTAL

Materiales

El asfalto base utilizado es del tipo 70-100 al que se le han incorporado 1, 2 y 4% de polímero tipo SBS radial y un único porcentaje de aditivo generador de la red polimérica C-L (cross-linker). Las mezclas se realizaron con un dispersor Silverson Modelo L5M provisto de un cabezal triturador y un cabezal dispersor, utilizando alta velocidad de corte en la etapa de incorporación del polímero y baja velocidad de corte al incorporar el aditivo, de manera de perturbar lo menos posible a la red polimérica generada. Las mezclas se realizaron a temperaturas elevadas usando un calentador vitrocerámico controlado por una sonda digital sumergida en el ligante y seteada con la temperatura deseada.

Dichos ligantes fueron posteriormente sometidos a procedimientos de laboratorio que producen condiciones de envejecimiento controladas a fin de simular los procesos de alteraciones por oxidación a corto y largo plazo que sufren los ligantes asfálticos durante la fabricación de las mezcla asfálticas y durante sus años de servicio en el pavimento.

Programa de ensayos

Se evaluaron 7 ligantes. Se realizaron los ensayos rutinarios de control de calidad de asfaltos, tales como penetración, recuperación elástica torsional y viscosidades rotacionales a 135 y 170 °C. Para la evaluación de energías de deformación se realizaron ensayos de tracción en probetas de asfalto sumergidas en agua a 5 y 10 °C. En estos ensayos se midieron parámetros

asociados a la tracción y parámetros asociados con la capacidad de deformación de los ligantes. Se analizaron también comparativamente las respuestas reológicas de los ligantes luego del ensayo de horno de película delgada rotativa (RTFO) y luego de su paso por la cámara de envejecimiento a presión (PAV).

Métodos de ensayo

Ensayo de envejecimiento en horno en película delgada rotatoria

Los ligantes fueron envejecidos en el horno de película delgada rotatoria (RTFO, rolling thin film oven), durante 85 minutos a 163 °C. Durante este procedimiento el ligante es sometido a temperatura y exposición controlada al aire en condiciones de película delgada en movimiento, siguiendo los lineamientos descriptos en la norma IRAM 6839 (ASTM D 2872).

Ensayo de envejecimiento en cámara a presión

Luego de su paso por el RTFO, parte de las muestras prosiguieron su proceso de envejecimiento acelerado en la cámara de envejecimiento a presión (PAV, preassure aging vessel), mediante aire presurizado y temperatura.

Si bien el ensayo fue diseñado para simular el envejecimiento en servicio en un período de tiempo entre 5 y 10 años, puede no ser representativo de las condiciones reales, por lo que en este trabajo, solo se utilizará para evidenciar diferencias en el comportamiento de los ligantes.

El ensayo sigue los lineamientos definidos por la norma ASTM D6521 (AASHTO R28), en el cual el ligante envejecido en el RTFO es ubicado en bandejas durante 20 horas en una cámara a temperatura y presión de 2,10 MPa.

Según el mapa de temperaturas viales definido por Agnusdei y losco, los ligantes requeridos en la mayor parte de nuestro país deben tener PG 58 o PG 64. En la zona cordillerana al sur de la provincia de Neuquén y en Patagonia al sur de la Provincia de Chubut, el ligante requerido será de PG 52 o inferior y en dos zonas desérticas de muy pequeña extensión ubicadas una en la provincia de La Rioja y otra en la frontera de Salta con Chaco y Santiago del Estero, el ligante requerido será de PG 70.

En función de ello, para este trabajo, la temperatura seleccionada para el envejecimiento en el PAV fue de 100 °C.

Durante el proceso de presurización a temperatura, las muestras incorporan gas y eventualmente puede también formarse una piel en la superficie. Luego de finalizado el proceso de envejecimiento, las muestras de las bandejas de cada material fueron volcadas en un mismo recipiente, calentadas y remezcladas, presentando luego un aspecto homogéneo, sin evidencia de separación de fases.

Ensayos de control de calidad

Se determinaron penetración a 25 °C (IRAM 6576) y recuperación elástica torsional (IRAM 6830). Las viscosidades rotacionales (IRAM 6837) se midieron con un viscosímetro Brookfield modelo RV usando el spindle 29 y realizando barridos de rpm. Los resultados presentados

corresponden a la lectura luego de un minuto de iniciado el giro del spindle a una velocidad de 20 rpm.

Ensayos de tracción

Para evaluar energías de deformación se utilizó un ductilómetro equipado con control de la temperatura y recirculación del agua del baño. Mediante un adquisidor de datos conectado a la celda de carga se registraron las curvas Carga-Deformación cuyos resultados se utilizan para calcular el trabajo o energía utilizada en la deformación.

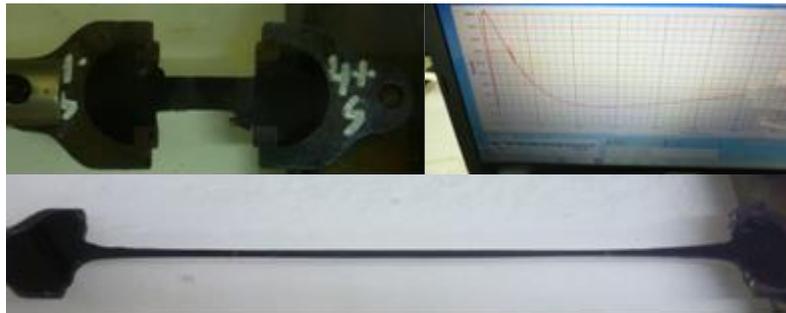


Figura 1. Probeta, registro de carga y deformación, probeta ensayada a tracción (abajo)

Las probetas tienen la forma mostrada en la Figura 1, con una sección transversal igual a 1 cm² a lo largo de los 30 mm de longitud libre entre dispositivos de sujeción. Para la preparación y tiempos de acondicionamiento de las probetas se han seguido los procedimientos descritos en la normativa EN 13589. Las probetas así moldeadas fueron estiradas a las temperaturas de ensayo de 5 y 10 °C y a la velocidad constante de 50 mm/min hasta que se produjo su rotura o hasta alcanzar una deformación específica de 1333% (400 mm).

Se definen los siguientes parámetros calculados en tres probetas para cada ligante analizado:

- E_{ROTURA}: Energía en Julios (J) sufrida por una probeta hasta la distancia de desplazamiento correspondiente a la rotura.
- E'_{0,2}: Energía convencional de tracción: energía sufrida por una probeta hasta alcanzar un estiramiento de 200 mm, en J/cm² (EN 13587)
- Ensayo de fuerza ductilidad: diferencia de las energías convencionales correspondientes a dos puntos de elongación, 0,2 m y 0,4 m (EN 13589)

$$E'_s = E'_{0,4} - E'_{0,2} \quad [\text{J/cm}^2] \quad (1)$$

- Relación de fuerzas (AASHTO T300-11)

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{P_{\text{primer pico}}}{P_{\text{segundo pico}}} \quad (2)$$

Si el segundo pico no aparece claramente definido, se usó la carga a los 400 mm de deformación

- Máxima carga P_{máx}, en N, y la elongación e, en mm, a la cual la máxima carga ocurre.
- Tensión de tracción

$$\sigma_{\text{tracción}} = \frac{P_{\text{máxima}}}{\text{Área inicial de la probeta}} \quad [\text{MPa}] \quad (3)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de ensayos de control de calidad

En la Tabla 1 se presentan propiedades convencionales de los asfaltos en estudio, en condiciones originales, luego del RTFOT y luego del PAV. Las propiedades que manifiestan cambios más significativos fueron la recuperación elástica torsional y la viscosidad a 135 °C (ensayo fundamental), con grandes incrementos en ambas propiedades.

Tabla 1. Propiedades convencionales de los asfaltos evaluados

	Asfalto base	sin C-L			con C-L		
		+1% SBS	+2% SBS	+4% SBS	+1% SBS	+2% SBS	+4% SBS
Penetración (25 °C, 100 g, 5s), 0,1 mm							
ORIGINALES	69	63	62	62	67	63	59
Luego del RTFOT	49	48	48	46	44	45	49
Luego del PAV	34	32	31	30	29	29	35
Recuperación elástica torsional, %							
ORIGINALES	0	31	51	75	30	54	79
Luego del RTFOT		26	44	68	30	51	78
Luego del PAV		18	30	56	22	36	63
Punto de ablandamiento (A y B), °C							
ORIGINALES	50,6	53,3	59,4	58,9	55,0	56,4	60,5
Luego del RTFOT	55,0	58,0	61,6	67,0	60,4	62,2	70,0
Luego del PAV	60,6	63,0	64,6	69,8	65,0	64,8	71,0
Viscosidad rotacional a 135 °C, mPa.s							
ORIGINALES	395	540	730	1265	520	750	1580
Luego del RTFOT	470	615	850	3150	640	930	3200
Luego del PAV	720	920	1100	3550	1150	1580	4600
Viscosidad rotacional a 170 °C, mPa.s							
ORIGINALES	90	115	135	165	130	140	300
Luego del RTFOT	105	135	180	290	150	195	460
Luego del PAV	140	180	210	360	190	240	450

En la figura 2 se muestran gráficamente las variaciones de dichas propiedades respecto del asfalto base.

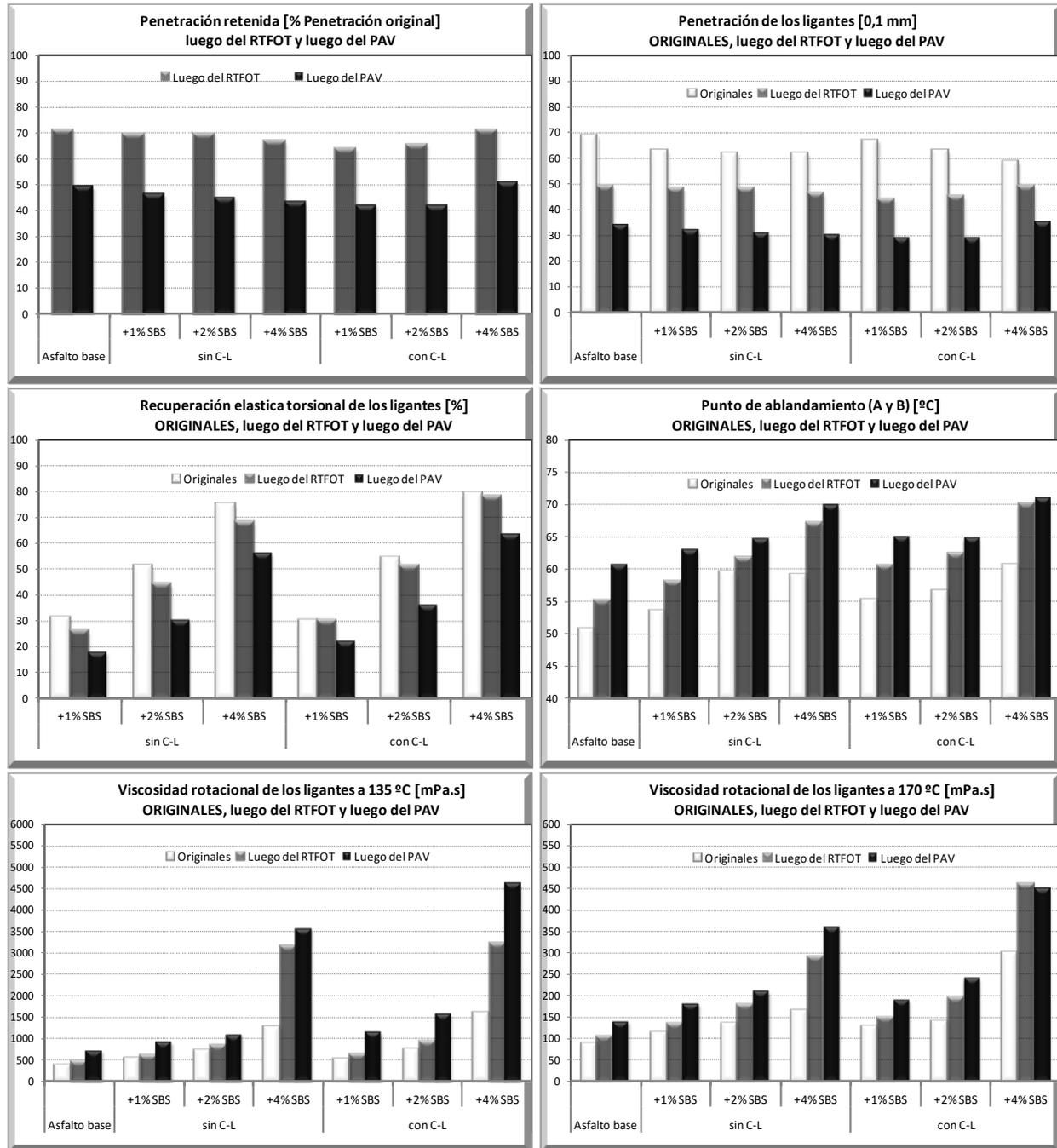


Figura 2. Variación de las propiedades del ligante con los modificadores adicionados

Luego de los ensayos de envejecimiento los ligantes muestran valores esperados de reducción de la penetración y de aumento del punto de ablandamiento.

Los ligantes con adición de aditivo generador de la red polimérica C-L, presentan mayores valores de Recuperación elástica torsional y mayores valores de viscosidad rotacional luego de los ensayos de envejecimiento, en comparación con los ligantes sin C-L.

Resultados de ensayos de tracción

En las siguientes figuras se presentan a modo de ejemplo, las curvas de evolución del ensayo de tracción a 5 °C, de los ligantes originales, luego del RTFOT y luego del PAV. (Figura 3).

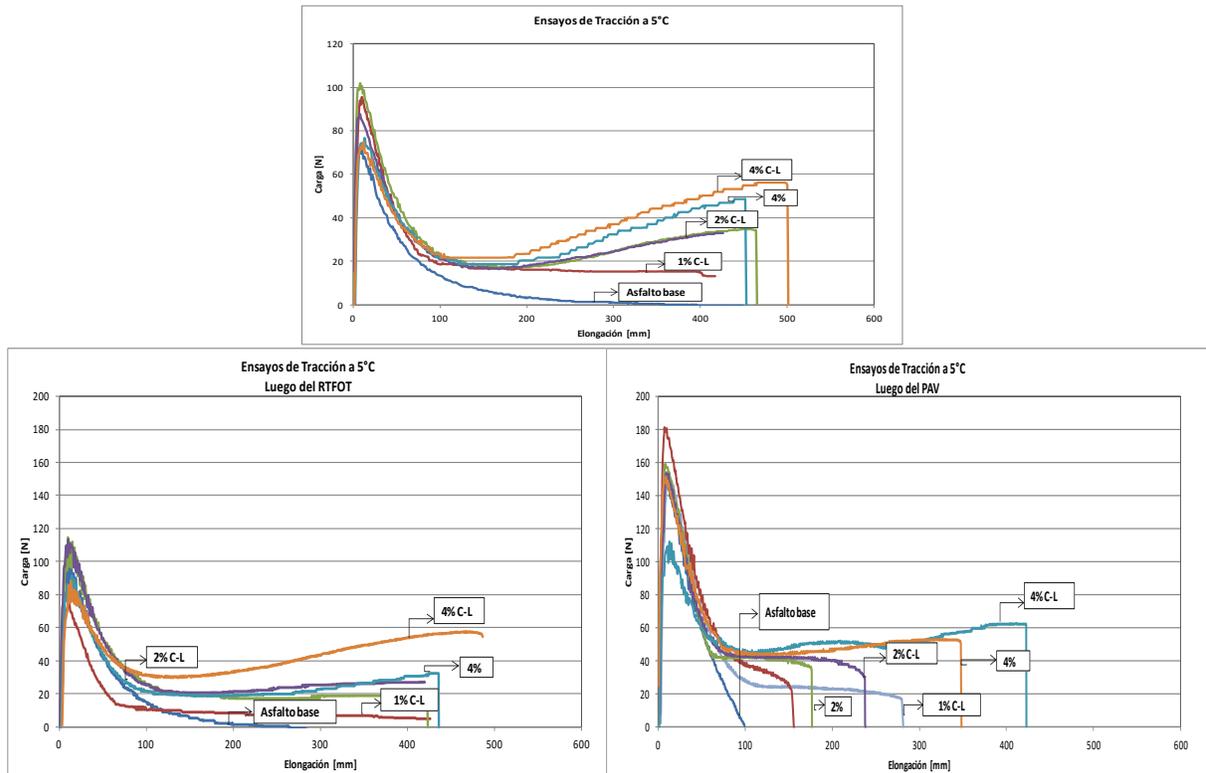


Figura 3. Ensayo de tracción a 5 °C, originales (arriba), luego de los ensayos de envejecimiento (abajo)

A 5°C, el asfalto base rompe prácticamente en las proximidades de los 200 mm de estiramiento. Todos los casos evaluados de ligantes originales con polímeros, con o sin C-L, rompen con estiramientos mayores a los 400 mm. Si bien la energía convencional para el asfalto con un 1% de polímero es mayor que la del asfalto base, no desarrolla el segundo pico de carga, característico de la mayor capacidad de deformación que presenta la incorporación de polímeros al ligante.

Luego del RTFOT, las energías de deformación hasta la rotura son menores, casi sin desarrollo del segundo pico de carga, salvo en el caso del 4% de polímero con C-L.

Luego del PAV, el asfalto base rompe en promedio para valores menores a los 100 mm de estiramiento. En general, la mayoría de los materiales analizados rompen antes de alcanzar los 400 mm de deformación, si bien las tensiones máximas de tracción del material son mayores.

Las conclusiones anteriores se extienden al ensayo realizado a 10 °C. El asfalto base rompe también con una elongación de aproximadamente 200 mm pero con una carga del orden de la tercera parte de la máxima alcanzada a 5 °C, para los asfaltos originales. El segundo pico de carga se manifiesta para contenidos de polímeros superior al 2%.

En la siguiente tabla se presentan los parámetros obtenidos en el ensayo para las temperaturas de ensayo de 5 °C (Tabla 2) y en la figura 4 se muestran gráficamente los parámetros más significativos de los ensayos de tracción a 5 °C.

Tabla 2. Propiedades de tracción a 5 °C de los asfaltos evaluados

	Asfalto base	sin C-L			con C-L		
		+1% SBS	+2% SBS	+4% SBS	+1% SBS	+2% SBS	+4% SBS
Energía convencional (de deformación 200 mm), $E'_{0,2}$, J/cm ²							
ORIGINALES	4,19	5,42	6,97	7,80	6,10	5,75	6,71
Luego de RTFOT	5,26	3,82	7,06	6,83	5,84	9,48	7,87
Luego de PAV	3,79	8,35	10,23	13,10	10,08	11,75	11,10
Fuerza-Ductilidad: Energía de def. entre los 200 y los 400 mm, $E'_{0,2-0,4}$, J/cm ²							
ORIGINALES	0,24	2,05	4,96	7,67	2,96	4,98	7,83
Luego de RTFOT	0,00	1,04	1,04	3,98	2,18	4,83	5,92
Luego de PAV	0,00	0,00	0,00	7,50	1,14	3,06	10,70
Energía de deformación total (hasta los 400 mm), $E'_{0,4}$, J/cm ²							
ORIGINALES	4,43	7,47	11,93	15,47	9,06	10,73	14,54
Luego de RTFOT	5,26	4,86	8,09	10,81	8,02	14,30	13,79
Luego de PAV	3,79	8,35	10,23	20,60	11,22	14,81	21,80
Relación de fuerzas							
ORIGINALES	---	---	0,32	0,60	---	0,37	0,61
Luego de RTFOT	---	---	4,38	3,16	9,49	3,66	1,66
Luego de PAV				2,72			1,88
Carga máxima, $P_{m\acute{a}x}$, N							
ORIGINALES	71,70	84,90	96,10	83,30	92,50	82,10	77,10
Luego de RTFOT	96,36	74,73	103,39	96,44	87,49	122,64	86,66
Luego de PAV	152,68	175,40	154,69	150,32	157,96	153,92	113,32
Elongación hasta la carga máxima, e, mm							
ORIGINALES	9,60	12,20	10,70	12,60	10,10	8,80	10,30
Luego de RTFOT	12,70	10,45	12,30	13,60	12,00	11,95	14,50
Luego de PAV	11,40	9,80	9,35	9,90	9,75	9,35	12,50
Resistencia a tracción, $\sigma_{tracci\acute{o}n}$, MPa							
ORIGINALES	0,72	0,85	0,96	0,83	0,92	0,82	0,77
Luego de RTFOT	0,96	0,75	1,03	0,96	0,87	1,23	0,87
Luego de PAV	1,53	1,75	1,55	1,50	1,58	1,54	1,13
Relación entre la Energía de deformación total y la Resistencia a tracción							
ORIGINALES	6,2	8,8	12,4	18,6	9,8	13,1	18,9
Luego de RTFOT	5,5	6,5	7,8	11,2	9,2	11,7	15,9
Luego de PAV	2,5	4,8	6,6	13,7	7,1	9,6	19,2

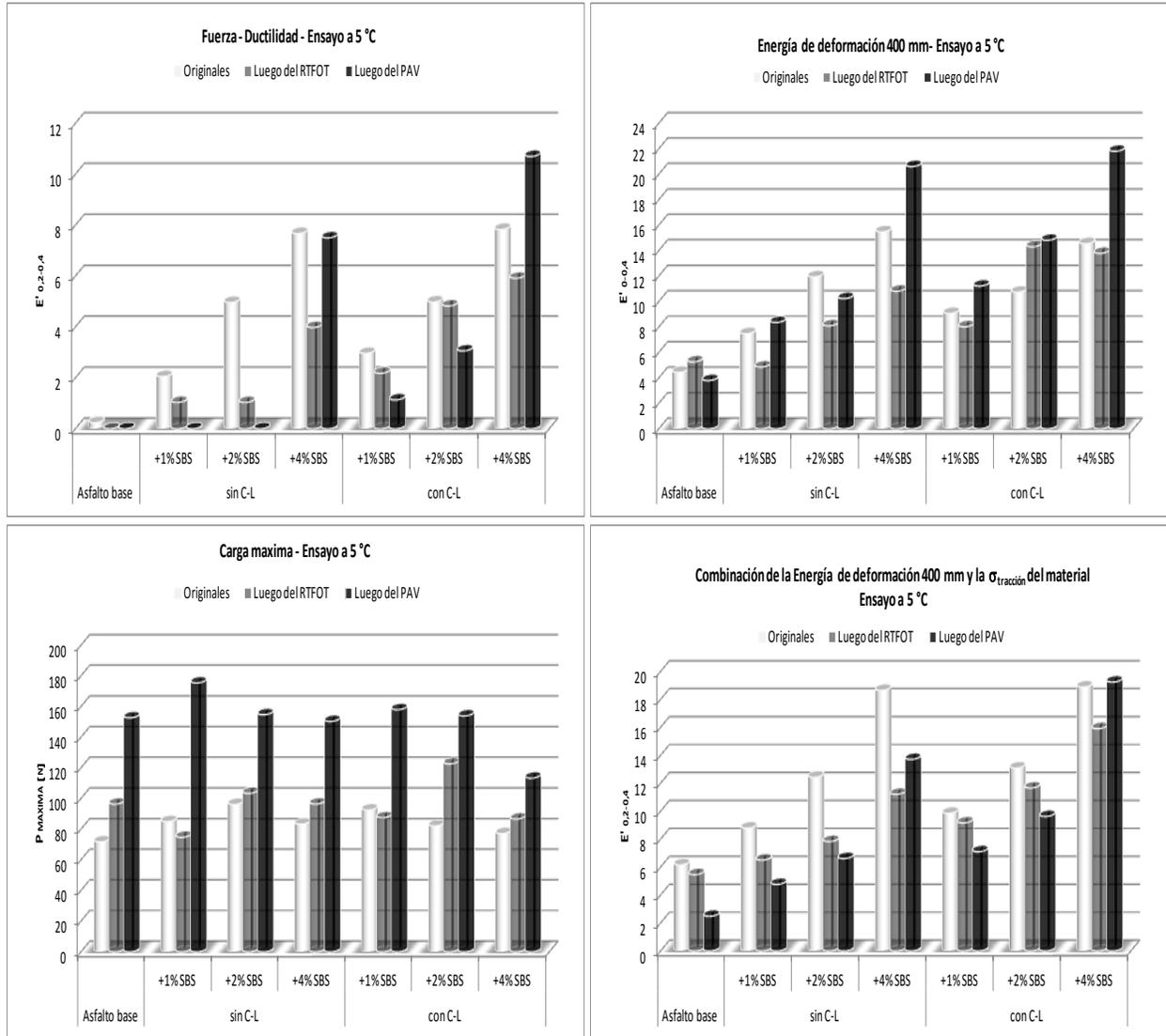


Figura 4. Ensayo de tracción a 5 °C

En la siguiente tabla se presentan los parámetros obtenidos en el ensayo para las temperaturas de ensayo de 10 °C (Tabla 3) y en la figura 5 se muestran gráficamente los parámetros más significativos de los ensayos de tracción a 10 °C.

Tabla 3. Propiedades de tracción a 10 °C de los asfaltos evaluados

	Asfalto base	sin C-L			con C-L		
		+1% SBS	+2% SBS	+4% SBS	+1% SBS	+2% SBS	+4% SBS
Energía convencional (de deformación 200 mm), $E'_{0,2}$, J/cm ²							
ORIGINALES	1,27	1,99	2,40	2,22	2,03	2,36	2,27
Luego de RTFOT	2,69	3,10	2,89	3,38	3,23	3,69	3,54
Luego de PAV	3,84	4,68	5,48	5,20	5,57	5,75	6,24
Fuerza-Ductilidad: Energía de def. entre los 200 y los 400 mm, $E'_{0,2-0,4}$, J/cm ²							
ORIGINALES	0,37	0,43	1,26	1,86	0,63	1,43	2,41
Luego de RTFOT	0,15	1,10	1,54	2,57	1,30	2,51	3,83
Luego de PAV	0,00	1,28	2,83	4,82	2,16	3,37	5,12
Energía de deformación total (hasta los 400 mm), $E'_{0,4}$, J/cm ²							
ORIGINALES	1,64	2,42	3,66	4,08	2,66	3,79	4,68
Luego de RTFOT	2,83	4,20	4,43	5,95	4,53	6,20	7,37
Luego de PAV	3,84	5,95	8,31	10,02	7,73	9,12	11,36
Carga máxima, $P_{máx}$, N							
ORIGINALES	26,60	34,60	37,30	30,10	33,80	35,60	25,00
Luego de RTFOT	42,27	52,75	41,00	40,50	47,88	47,66	35,12
Luego de PAV	69,33	73,02	76,17	74,83	85,59	72,67	48,78
Elongación hasta la carga máxima, e, mm							
ORIGINALES	11,60	9,90	9,90	10,90	10,10	9,20	12,10
Luego de RTFOT	10,00	10,03	8,75	9,45	9,02	8,50	9,95
Luego de PAV	13,00	9,80	10,50	11,50	10,00	10,00	14,50
Resistencia a tracción, $\sigma_{tracción}$, MPa							
ORIGINALES	0,27	0,35	0,37	0,30	0,34	0,36	0,25
Luego de RTFOT	0,42	0,53	0,41	0,41	0,48	0,48	0,35
Luego de PAV	0,69	0,73	0,76	0,75	0,86	0,73	0,49
Energía de deformación total/ Resistencia a tracción							
ORIGINALES	6,2	7,0	9,8	13,6	7,9	10,6	18,7
Luego de RTFOT	6,7	8,0	10,8	14,7	9,5	13,0	21,0
Luego de PAV	5,5	8,1	10,9	13,4	9,0	12,5	23,3

El ensayo de fuerza ductilidad está basado en la teoría de que un asfalto debe ser capaz de relajar cuando es solicitado pero debe ser suficientemente tenaz para mantener la integridad. Cuanto mayor sea la tensión en la película delgada, mayor será la posibilidad de rotura. Vemos

en las Tablas 2 y 3 que la resistencia a tracción se incrementa al incorporar polímero hasta un cierto porcentaje donde empieza a disminuir, lo que puede indicar un parámetro para el contenido mínimo de polímero para el cual el material se comporta como material compuesto, mostrando un carácter más flexible.

Dado que el material requiere simultáneamente condiciones de deformabilidad y resistencia a tracción, un parámetro que combine ambas propiedades resulta interesante, tal como la relación entre energía unitaria de deformación acumulada hasta la deformación de 400mm, $E'_{0,4}$ y la resistencia a tracción que solicita al material (respecto del área unitaria).

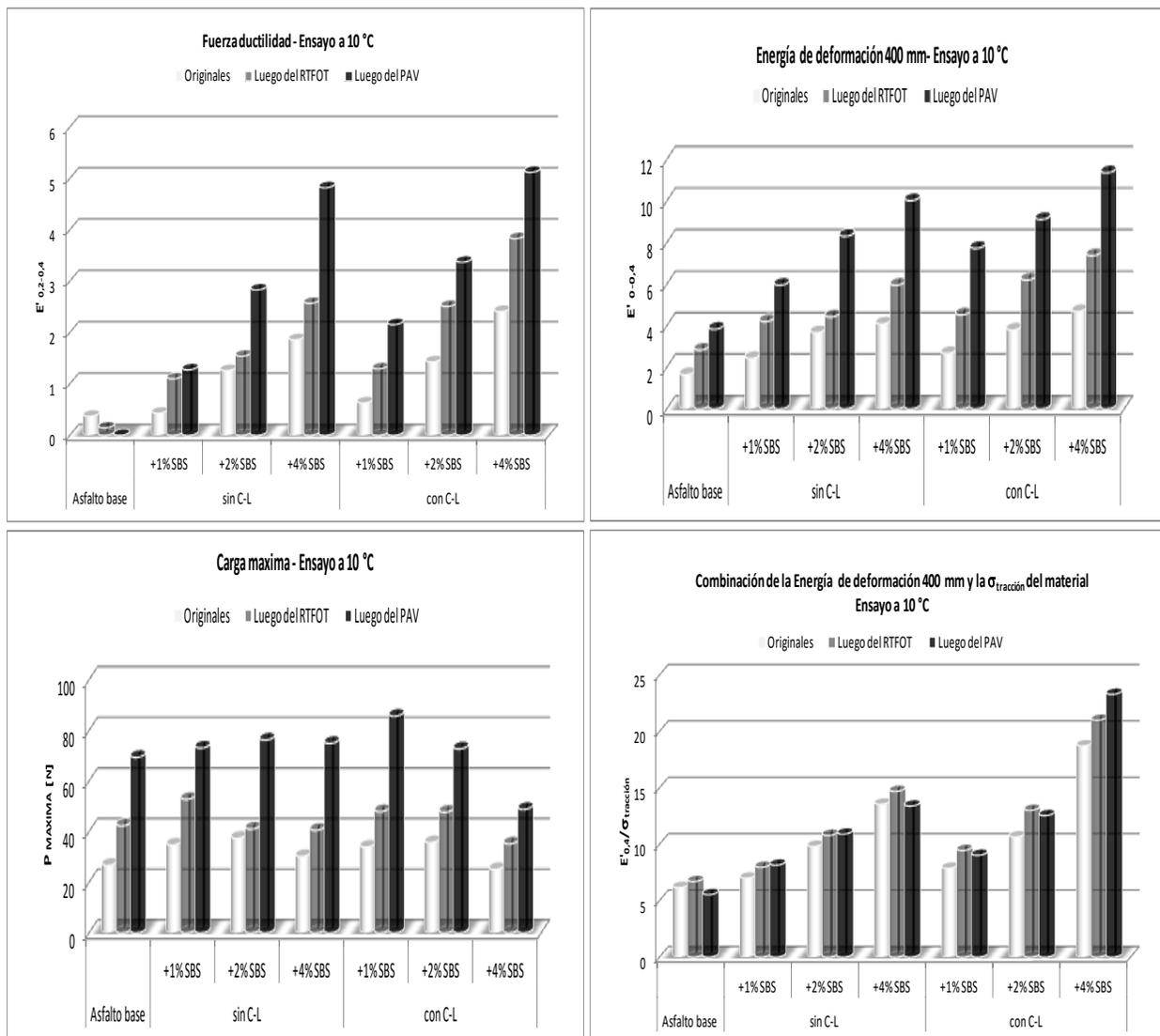


Figura 5. Ensayo de tracción a 10 °C

En la siguiente figura, Figura 6, se resumen las diferentes capacidades de deformación del ligante antes de su rotura en el ensayo de tracción. La parte inferior de las columnas son las áreas bajo las curvas de tracción desde el inicio del ensayo hasta alcanzar la deformación de 200 mm (Energía convencional). La parte superior de las columnas son las áreas bajo las curvas de tracción desde la deformación 200 mm y la deformación 400 mm, conocida como el resultado del ensayo de Fuerza-Ductilidad $E'_{0,2-0,4}$.

Se puede ver que algunos de los materiales evaluados no presentan energía por encima de la energía convencional, es decir, rompen antes de los 200 mm, tales son el asfalto base, original, tras RTFOT y tras PAV, y los ligantes envejecidos que tienen bajos contenidos de polímeros.

En particular, los ligantes con 4 % de polímero presentan los mayores valores de Fuerza-Ductilidad, en comparación con los ligantes con menores contenidos de polímeros.

Es decir que un asfalto con suficiente contenido de polímero tendrá mayor capacidad de deformación sin romper, aún envejecido con PAV. Esta condición explica la alta durabilidad que presentan los ligantes modificados, la que mejora notablemente cuando se fabrican con aditivos generadores de la red polimérica C-L.

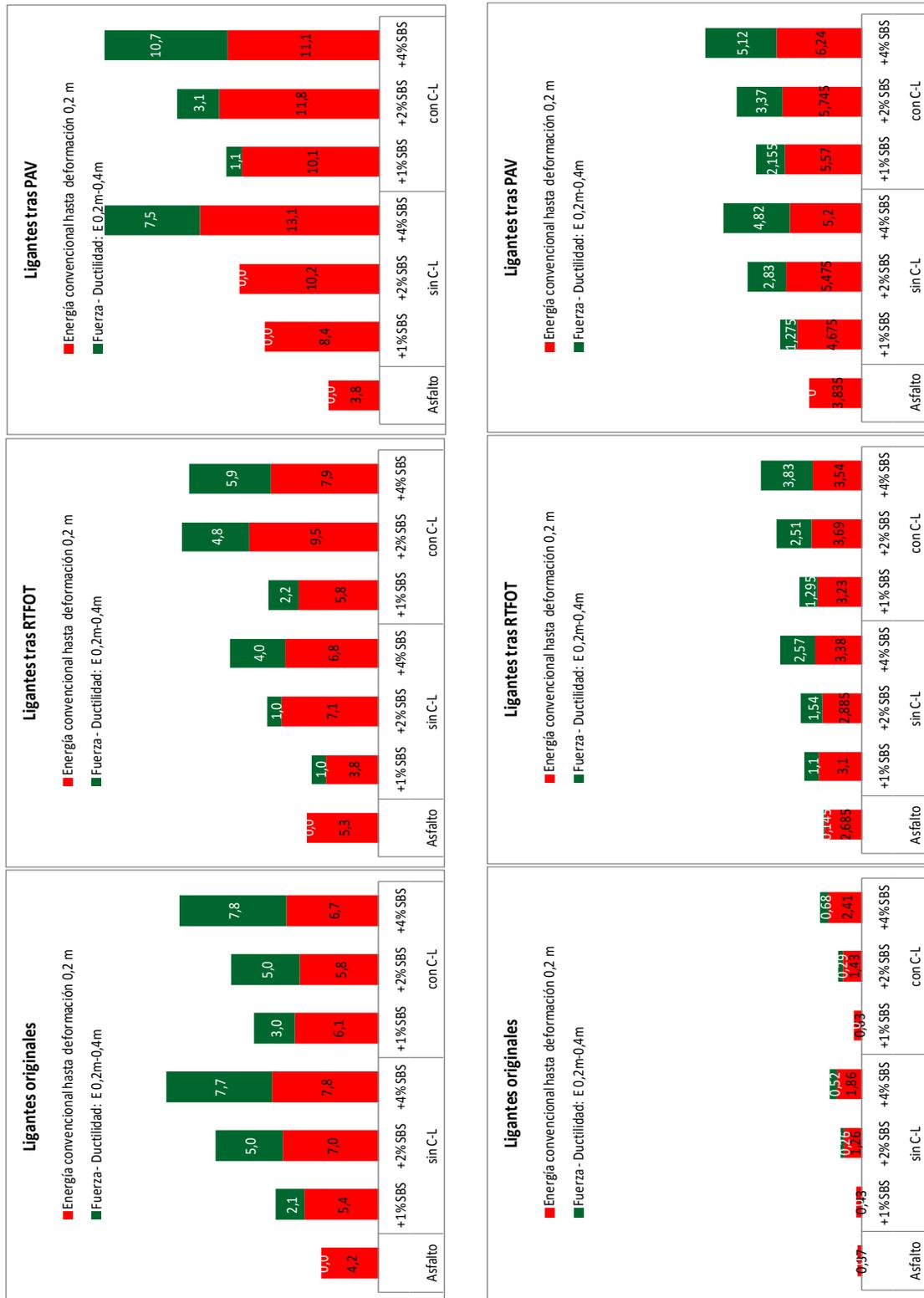


Figura 6. Energía convencional. Fuerza ductilidad

Resultados de ensayos en el DSR

En la Figura 7 se presentan los diagramas de Black de los asfaltos base y de los mismos con la incorporación de diferentes porcentajes de polímero con y sin Cross-Linker (C-L), izquierda y derecha respectivamente. En primera instancia se observa en los asfaltos sin C-L que presentan un comportamiento del tipo Newtoniano, si bien se diferencian entre sí. Por otra parte, una vez que se incorpora el C-L se observa un comportamiento típico de los asfaltos modificados en los que las curvas retornan hacia los valores bajos de ángulo de fase (comportamiento elástico) para los menores valores de G^* (relativo a las altas temperaturas). Esto permite poner en evidencia la presencia de la red polimérica. Además se observa que cuanto mayor el porcentaje de polímero las curvas se desplazan más a la izquierda, relativo a un comportamiento más elástico del asfalto.

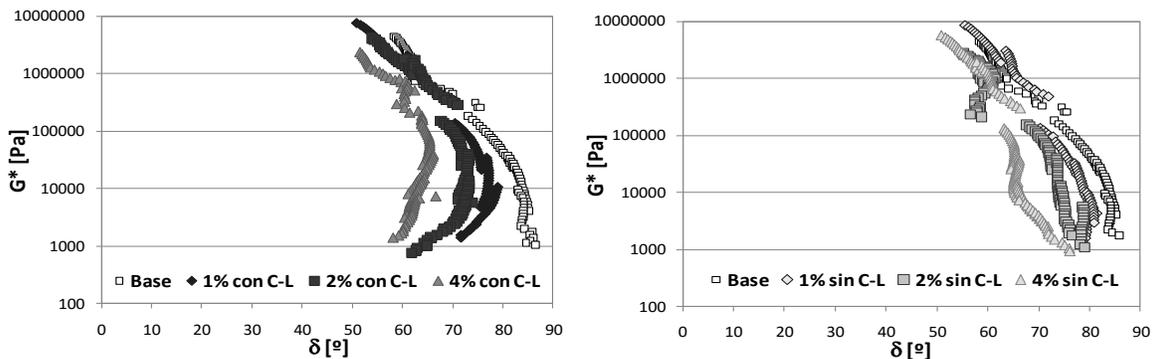


Figura 7. Diagramas de Black de los asfaltos modificados

CONCLUSIONES

El uso de asfaltos modificados con diferentes polímeros ha incrementado notablemente en los últimos años y prácticamente es obligatorio su uso en autopistas o rutas principales debido a su durabilidad y altas prestaciones.

Las especificaciones sobre estos ligantes son suficientes para controlar la calidad de asfaltos fabricados en planta, pero no caracterizar su comportamiento bajo las sollicitaciones de tránsito.

Actualmente, el presente trabajo se encuentra en la fase preliminar. El proyecto contempla en subsiguientes etapas, la evaluación de diferentes polímeros y la consiguiente evaluación de las propiedades de las mezclas asfálticas que utilicen a dichos asfaltos como ligantes.

Las propiedades que manifiestan cambios más significativos respecto del contenido de polímero fueron la recuperación elástica torsional y la viscosidad a 135 °C (ensayo fundamental), con grandes incrementos en ambas propiedades.

En el ensayo de fuerza-ductilidad a 5°C sobre ligantes originales, todos los asfaltos con polímeros rompen con estiramientos mayores a los 400 mm, si bien no desarrollan el característico segundo pico de carga hasta que el contenido de polímero fue superior a 2%.

Las conclusiones anteriores se extienden al ensayo realizado a 10 °C sobre ligantes originales, salvo que las cargas máximas son del orden de la tercera parte de las obtenidas a 5 °C. El segundo pico de carga también se manifiesta para contenidos de polímeros superior al 2%.

Respecto de los ligantes envejecidos tras RTFOT y PAV, puede concluirse que el ensayo permite evaluar ligantes asfálticos que conservan una importante cantidad de energía de deformación, lo que los hace más flexibles que los ligantes base o los ligantes con bajos contenidos de ligante.

La energía de deformación asociada con una importante resistencia a tracción, garantizan un excelente comportamiento como ligante de mezclas asfálticas.

Estas propiedades serán utilizadas para evaluar la incorporación de tasas intermedias y altas tasas de reciclado de pavimentos convencionales o modificados con diferentes grados de envejecimiento, de manera de diseñar el ligante resultante más adecuado para cada situación.

La resistencia a tracción puede indicar un parámetro para el contenido mínimo de polímero para el cual el material se manifiesta como un material compuesto.

Un valor máximo del parámetro Relación de fuerzas puede ser un indicativo del contenido máximo de polímero bajo un punto de vista costoefectivo.

De los ensayos con el DSR se concluye que la incorporación de polímero mejora la respuesta elástica del asfalto base.

Los resultados también permiten observar un cambio cuando se adiciona un generador de la red polimérica.

REFERENCIAS

AASHTO T300, 2012. Force Ductility Test of Asphalt Materials. 32nd Edition of Standard Specifications and Methods of Sampling and Testing

Agnusdei, J.O., losco O.A. (1997). Mapa de temperaturas viales para Argentina.

Agnusdei, J. losco, O. Jair, M. Morea F. (2007). Correlación entre medidas de Ahuellamiento in situ y ensayos de laboratorio 2ª parte. XIV Congreso Ibero Americano del Asfalto.

Agnusdei, J. losco, O. Jair, M. Morea F. (2006). Correlación entre medidas de Ahuellamiento in situ y ensayos de laboratorio. XXXIV Reunión del Asfalto, Comisión Permanente del Asfalto.

Anderson, D.I., Wiley, M.L. (1976). Force ductility. An asphalt performance indicator. Chemical Abstracts, Volumen 45.

Bahia, H.U. and Anderson, D.A. (1995). *The Pressure Aging Vessel (PAV): A Test to Simulate Rheological Changes Due to Field Aging*. ASTM Special Technical Publication 1241, Hardin, J.C., ed. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.

EN 13703, 2004. Determinación de la energía de deformación.

EN 13589, 2004. Determinación de las propiedades de tracción de betunes modificados por el método de fuerza-ductilidad.