ADITIVOS MODIFICADORES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, PRIMERAS EXPERIENCIAS EN ARGENTINA

Andrés Pugliessi[1], Gustavo Mezzelani[1],
Bruno Flores[2], Martín Weller[3] y José Muzzilini[4]

[1] ITYAC, Rosario, Argentina, a.pugliessi@ityac.com.ar
[2] PR Industrie, Arnay-le-Duc, Francia, b.flores@pr-industrie.com
[3] OBRING, Rosario, Argentina, mweller@gruporjg.com.ar
[4] SACDE, Rosario, Argentina, jmuzzullini@sacde.com.ar

Resumen

En la década del 90, la aparición de asfaltos modificados con polímeros significó en Argentina, un cambio radical en los resultados obtenidos en el comportamiento de servicio de las mezclas asfálticas respecto a los alcanzados con asfaltos convencionales.

En la actualidad nuevos desarrollos tecnológicos en la elaboración de mezclas asfálticas intentan garantizar mejores comportamientos ante la fatiga y las deformaciones permanentes que generan un tránsito en constante crecimiento.

Los avances químicos posibilitaron a industrias de todo el mundo a desarrollar aditivos que modifican efectivamente el ligante asfáltico o directamente las mezclas según la necesidad específica del constructor.

En este trabajo se intentan resumir las primeras experiencias a escala laboratorio y real, en la utilización de una serie de aditivos modificadores. Los primeros resultados obtenidos, confirman la efectividad de los mismos ante las dos fallas más comunes en los pavimentos de nuestro país.

Palabras Clave: asfaltos, polímeros, aditivos, modificadores.

1 Introducción

En la década del 90, la aparición de asfaltos modificados con polímeros significó en Argentina, un cambio radical en los resultados obtenidos en el comportamiento de servicio de las mezclas asfálticas respecto a los alcanzados con asfaltos convencionales.

La utilización de este tipo de ligantes ha demostrado su capacidad para mejorar el comportamiento de los tradicionales, prolongando el período de servicio y disminuyendo gastos de conservación.

En la actualidad nuevos desarrollos tecnológicos en la elaboración de mezclas asfálticas intentan garantizar mejores comportamientos ante la fatiga y las deformaciones permanentes que generan un tránsito en constante crecimiento.

Los avances químicos posibilitaron a industrias de todo el mundo a desarrollar aditivos que modifican efectivamente el ligante asfáltico o directamente las mezclas según la necesidad específica del constructor.

Los aditivos que más se destacan actualmente son los que reducen la temperatura de mezclado de las mezclas, posibilitando las denominadas mezclas

tibias, y los que modifican su comportamiento ante las principales fallas de una mezcla asfáltica, fisuración y deformaciones permanentes o ahuellamiento.

En este trabajo se intentan resumir las primeras experiencias a escala laboratorio y real, en la utilización de una serie de aditivos modificadores. Los primeros resultados obtenidos, confirman la efectividad de los mismos ante las dos fallas más comunes en los pavimentos de nuestro país.

Figura 1. Ahuellamientos y deformaciones plásticas en las mezclas asfálticas

2 Aditivos modificadores de mezclas asfálticas

Los aditivos modificadores de mezclas asfálticas tienen como objetivo mejorar las propiedades intrínsecas de mezclas asfálticas, tratando de resolver los principales problemas encontrados en proyectos de rutas, autopistas, plataformas industriales, puertos y aeropuertos.

Las principales ventajas que pueden otorgar su utilización pueden enumerarse de la siguiente manera:

1. Mejoras en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas luchando contra las deformaciones permanentes (ahuellamientos) y aumentando su resistencia a la fatiga (fisuración), las fugas de hidrocarburos, disminución en la susceptibilidad térmica, etc.
2. Prolongación de la vida útil de los pavimentos y/o reducción de los espesores asfálticos en las estructuras de pavimentos flexibles.
3. Producción de asfaltos de alto desempeño sostenible en el tiempo, en cualquier ubicación partiendo desde la utilización de asfaltos convencionales.

Si bien los asfaltos modificados con polímeros disponibles en el mercado local cumplen con creces los ítems anteriormente enumerados, la utilización de aditivos modificadores en forma de granos, presentan algunas ventajas adicionales, por ejemplo.

- ✓ Facilita la modificación de mezclas asfálticas en cualquier lugar, en cualquier momento y con cualquier tipo de planta asfáltica, continua o discontinua.
- ✓ Simplifica la tarea de almacenamiento y de falta de homogeneización debido al transporte del asfalto modificado,
- ✓ Brinda flexibilidad debido a que no se requieren centrales de modificación del asfalto.

- ✓ Facilita el uso de asfaltos locales o regionales.
- ✓ Reduce el consumo energético y de emisiones a la atmósfera por trabajar con temperaturas de asfaltos convencionales.

En este trabajo nos focalizamos en dos tipos de aditivos disponibles en el mercado mundial:

- Aditivos con PLASTOMEROS, que disminuyen la tendencia de las mezclas a las deformaciones permanentes, brindando mejor comportamiento frente al ahuellamiento y aumentando el módulo dinámico y,
- Aditivos con ELASTOMEROS, que disminuyen las fallas por fatiga, brindando mayor elasticidad a la mezcla asfáltica.

Los aditivos utilizados en este estudio requieren tiempos de mezclado muy cortos y permiten la obtención de mezclas homogéneas. La forma física del aditivo se puede observar en la Figura 2 a continuación.

Figura 2. Aditivos modificadores en granos o pellets

3 Estudio experimental

Si bien los aditivos aquí evaluados son productos comerciales con un fuerte respaldo técnico por parte de los productores, con varios años de comercialización en el mundo, el objetivo de esta experiencia es ratificar las bondades indicadas por el fabricante y adquirir experiencia local en el manejo de este tipo de productos.

El objetivo principal fue determinar el comportamiento mecánico de distintas mezclas asfálticas elaboradas con distintos aditivos modificadores y compararlo con el de una mezcla con ligante asfaltico convencional.

De esta manera, los resultados obtenidos en esta primera etapa de estudios, efectuados mayormente en laboratorio, deberán ser corroborados con el seguimiento de pruebas a escala real las cuales, si bien dos de ellas se encuentran analizadas en el presente estudio, las mismas deberán ser evaluadas a través del tiempo en un período de algunos años.

3.1 Estudio de laboratorio

La mezcla asfáltica que se utilizó para la experiencia de laboratorio fue una mezcla para bases de granulometría continua en caliente tipo CAC B D19, 100% de agregado pétreo triturado y con asfalto convencional CA 30 como ligante base, en un contenido de 4,1% (en peso). A continuación, en la Tabla 1, la granulometría utilizada para los moldeos.

Tabla 1. Granulometría de la mezcla utilizada en el estudio de laboratorio

% Que pasa por tamices							
1” 25,4 mm	3/4” 19,0 mm	3/8" 9,5 mm	Nº 4 4,8 mm	Nº 8 2,4 mm	Nº 30 0,60 mm	Nº 50 0,30 mm	Nº 200 0,074 mm
100	92,2	66,5	53,4	37,7	20,6	15,0	6,7

De esta manera se analizaron las siguientes mezclas asfálticas, con distintos contenidos de aditivos:

- CAC D19 CA 30
- CAC D19 CA 30 + Aditivo plastómero (0,3% y 0,6% en peso de la mezcla)
- CAC D19 CA 30 + Aditivo elastómero (5% y 10% en peso del ligante asfáltico)

Los ensayos de laboratorio ejecutados hasta la fecha consistieron en:

- Caracterización de los distintos ligantes asfálticos resultantes de la adición de aditivos,
- Moldeos Marshall para determinar los distintos parámetros volumétricos de las distintas mezclas elaboradas,
- Determinación de módulos de rigidez (Stiffness) para distintas condiciones de temperatura,
- Ensayos de Rueda Cargada WTT (por sus siglas en ingles de Wheel Tracking Test).

Resta la ejecución de ensayos de fatiga sobre las distintas mezclas asfálticas elaboradas en laboratorio y la determinación de las curvas maestras.

De esta manera se ensayaron las siguientes mezclas asfálticas indicadas en la Tabla 2, mientras que los resultados pueden observarse a continuación.

Tabla 2. Probetas moldeadas con distintos tipos aditivos, en distintas cantidades

Denominación	Tipo de mezcla
A	CAC D19 CA 30
B, C	CAC D19 CA 30 + Aditivo plastómero (0,3% y 0,6% en peso de la mezcla)
D, E	CAC D19 CA 30 + Aditivo elastómero (5% y 10% en peso del ligante asfáltico)

Tabla 3. Caracterización de los distintos ligantes asfálticos resultantes de la adición de aditivos

Tipo de ligante	Original			RTFOT			Relación
	Visc. 60ºC (p) / (Cp)	P. Abl. (ºC)	Penet. (mm)	Visc. 60 ºC (p) / (Cp)	P. Abl. (ºC)	Penet. (mm)	
4,1% CA30	2.870	49,1	45,3	7.900	55,2	30,0	2,8
4,1% CA30 + 0,3%	3.030	49,3	43,30	8.690	55,2	29,0	2,9
4,1% CA30 + 0,6%	3.590	50,9	51,40	14.400	58,7	31,0	4,0
4,1% CA30 + 5% ELASTOMEROS	3.590	50,1	55,4	14.400	58,5	27,5	4,0
4,1% CA30 + 10% ELASTOMEROS	3.590	50,9	51,40	14.400	58,7	31,0	4,0

Tabla 4. Densidades de testigos moldeados

Denominación	Probeta	Tipo de ligante	Densidades	Promedio
A	1	4,1% CA30	2,438	2,450
	2		2,455	
	3		2,456	
B	4	4,1% CA30 + 0,3% PLASTOMEROS	2,451	2,450
	5		2,451	
	6		2,448	
C	7	4,1% CA30 + 0,6% PLASTOMEROS	2,431	2,438
	8		2,444	
	9		2,439	
D	10	4,1% CA30 + 5% ELASTOMEROS	2,454	2,461
	11		2,453	
	12		2,476	
E	13	4,1% CA30 + 10% ELASTOMEROS	2,466	2,464
	14		2,465	
	15		2,462	

Figura 3. Resultados ensayo Marshall – Estabilidad Marshall / Fluencia Marshall

Figura 4. Resultados ensayo Marshall – Vacíos de aire / Relación betún-vacíos

Se ejecutaron los ensayos de rueda cargada WTT, según la Norma UNE-EN 12697-22 Procedimiento B, como se aprecia en la Figura 5 a continuación, mientras que los resultados pueden observarse en la Tabla 5 y Figura 6.

Figura 5. Ensayo de rueda cargada (WTT)

Tabla 5. Resultados de ensayo de rueda cargada (WTT) en forma de tabla

Denominación	Tipo de ligante	PRD (%)	WTS aire (mm/10³ciclos)
A	4,1% CA30	7,1	0,18
B	4,1% CA30 + 0,3% PLASTOMEROS	5,5	0,11
C	4,1% CA30 + 0,6% PLASTOMEROS	1,8	0,02
D	4,1% CA30 + 5% ELASTOMEROS	5,1	0,10
E	4,1% CA30 + 10% ELASTOMEROS	3,4	0,04

Figura 6. Resultados de ensayo de rueda cargada (WTT) en forma gráfica

Siendo WTS la pendiente media de deformación [mm/1000 ciclos de carga] en el intervalo de 5.000 a 10.000 ciclos y Profundidad Media de la Huella (PRD)[%]

Puede apreciarse entonces la mejora lograda en términos de resistencia al ahuellamiento para las 4 muestras con aditivos.

A modo de referencia la Figura 7 es un extracto de las exigencias establecidas en las nuevas especificaciones de la DNV de la República Argentina del 2017, para el ensayo de rueda cargada o WTT.

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 7. Resultados de ensayo de rueda cargada (WTT) en forma gráfica

Complementariamente se efectuaron ensayos de determinación de módulo de rigidez (Stiffness) según la Norma UNE-EN 12697-26 Anexo C. El equipo utilizado se aprecia en la Figura 8.

Figura 8.Equipo para ensayo de módulo de rigidez (Stiffness)

Los resultados de los ensayos realizados sobre las muestras mencionadas en la Tabla 6 y Figura 9 para 10, 20, y 40ºC fueron los siguientes.

Tabla 6. Resultados de ensayo de rigidez (Stiffness) en forma de tabla

Denominación	Tipo de ligante	E (MPa) 10ºC	E (MPa) 20ºC	E(MPa) 40ºC
A	4,1% CA30	10.269	4.890	1.083
B	4,1% CA30 + 0,3% PLASTOMEROS	13.376	5.490	1.042
C	4,1% CA30 + 0,6% PLASTOMEROS	13.186	5.339	922
D	4,1% CA30 + 5% ELASTOMEROS	13.195	5.257	1.015
E	4,1% CA30 + 10% ELASTOMEROS	11.636	4.881	952

Figura 9. Resultados de ensayo de rigidez (Stiffness) en forma gráfica

Resulta complejo efectuar conclusiones solamente disponiendo de estos resultados. Para ello se requiere el comportamiento de las mezclas a distintas frecuencias de solicitaciones, así como el mencionado análisis de comportamiento a la fatiga de las mezclas.

3.2 Estudio de campo

Si bien los resultados obtenidos hasta el momento en laboratorio fueron satisfactorios, es fundamental corroborarlo con experiencias reales y evaluadas a través de un período de tiempo representativo.

Hasta la fecha, con menos de un año en servicio, se efectuaron dos experiencias a escala real, la primera de ellas sobre una avenida urbana de la ciudad de Rosario, y la otra sobre una Ruta Provincial de Santa Fe. A continuación se describen brevemente y se resumen los resultados obtenidos en controles efectuados inmediatamente posteriores a su producción.

3.2.1 Avenida urbana de la ciudad de Rosario

Esta experiencia a escala real consistió en la repavimentación en 7 cm de espesor, de un sector de unos 100 metros de longitud y 10 m de ancho aproximados, sobre la Avenida Eva Perón en la ciudad de Rosario. El tramo presenta un alto nivel de solicitaciones de transporte público de pasajeros, circulación de baja velocidad y detenciones permanentes debido a la presencia de semáforos.

En este caso la mezcla asfáltica utilizada fue de granulometría continua en caliente tipo CAC D19, con asfalto convencional CA 30 como ligante base, pero en un contenido de 4,5% (en peso) y cumpliendo las exigencias de la Municipalidad de Rosario para las mezclas asfálticas de repavimentación.

La planta asfáltica utilizada para la elaboración fue una del tipo continua tambor secador mezclador y la incorporación del aditivo elastómero mejorador al comportamiento fatiga fue incorporado mediante una tolva como la que se muestra en la Figura 10 a continuación.

Figura 10. Tolva utilizada para la incorporación del aditivo

Con el objetivo de sacar el máximo provecho de la experiencia se utilizaron 2 tipos de mezcla, un sector con ligante asfaltico convencional CA 30 y otro con la incorporación de aditivo mejorador de fisuración y disminución de la susceptibilidad térmica. A continuación algunas imágenes de las tareas ejecutadas y el aspecto final de la mezcla colocada.

Figura 11. Superficie previa a la distribución de la mezcla – Ejecución de 7 cm de C.A. con aditivos

Una semana posterior a la ejecución se procedió a calar testigos para la ejecución de ensayos WTT en laboratorio.

Figura 12. Testigos calados en preparación para ensayo WTT en laboratorio

Los ensayos de campo de WTT ejecutados hasta la fecha, arrojaron los siguientes resultados que se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de ensayo de rueda cargada WTT sobre testigos calados del pavimento

Denominación	Tipo de ligante	PRD (%)	WTS aire (mm/10³ciclos)
F	4,5% CA30	6,7	0,16
G	4,5% CA30 + 7,5% ELASTOMEROS	5,7	0,09

Transcurridos cinco (5) meses desde su habilitación, el sector de repavimentación aún no presenta fallas visibles tales como ahuellamiento o fisuración. A pesar de esto, aún resulta prematuro efectuar algún comentario respecto a su comportamiento.

3.2.2 Ruta provincial Nº 91 (Santa Fe)

En esta oportunidad y con el consentimiento de Vialidad Provincial de Santa Fe se efectuó en un tramo de prueba durante las tareas de repavimentación de la Ruta Provincial Nº 91. Por su ubicación en cercanías de las terminales portuarias más importantes del país, el tramo presenta un alto nivel de solicitaciones de transporte cerealero.

Ya que la obra de repavimentación preveía la utilización de ligante tipo AM3, y con el objetivo de disponer una buena base de datos para evaluar comportamientos, se utilizaron 3 tipos de mezcla extras, un sector con ligante asfaltico convencional CA 30 y 2 sectores con la incorporación de aditivos mejorador de fisuración y mejorador a las deformaciones plásticas respectivamente.

De esta manera se ejecutó el tramo de prueba en 4 cm de espesor, 600 metros de longitud aproximadamente y 3,65 m de ancho.

La mezcla asfáltica utilizada fue de granulometría continua en caliente tipo CAC D19, 1% de cal hidratada y un contenido teórico de 5,0% (en peso) de ligante modificado con polímeros tipo AM3, cumpliendo las especificaciones del Pliego la Provincia de Santa Fe para esta obra.

La planta asfáltica utilizada para la elaboración fue una del tipo continua tambor secador mezclador y la incorporación de los aditivos fue mediante una tolva similar a la utilizada en la otra experiencia. A continuación algunas imágenes de la ejecución de los tramos de prueba.

Figura 13. Ejecución de tramos de prueba sobre RP Nº 91 (Santa Fe)

Posterior a la ejecución se procedió al moldeo de probetas tipo Marshall y ejecución de ensayos WTT en laboratorio. Hasta la fecha solo se pudo avanzar con la ejecución de ensayos WTT sobre mezclas elaboradas con aditivos, resta llevar a cabo ensayos de módulos dinámicos y ensayos de fatiga.

Los ensayos de WTT fueron ejecutados sobre moldeos de pastones de planta obtenidos durante la producción y arrojaron los siguientes resultados indicados en la Tabla 8 y Figura 14.

Tabla 8. Resultados de ensayo de rueda cargada WTT sobre pastones de producción

Denominación	Tipo de ligante	PRD (%)	WTS aire (mm/10³ciclos)
H	5% CA30 + 0,5% PLASTOMEROS	1,8	0,02
I	5% CA30 + 7,5% ELASTOMEROS	4,9	0,09

Figura 14. Resultados ensayo WTT sobre pastones de producción RP Nº 91

Los resultados de WTT obtenidos con los pastones de producción y mezclas con aditivos, muestran compatibilidad con los resultados obtenidos en laboratorio, respecto a la mejora lograda en términos de resistencia al ahuellamiento.

Asimismo debido al corto período desde su habilitación al tránsito, resulta prematuro efectuar comentarios respecto al comportamiento a largo plazo.

4 Conclusiones

- ✓ Con estos primeros resultados obtenidos puede demostrarse que el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con aditivos, responden de manera superadora respecto a las convencionales a escala de laboratorio, principalmente a las deformaciones permanentes.
- ✓ En lo referente a ensayos de laboratorio, los próximos pasos consisten en la ejecución de ensayos restantes de fatiga y ensayos de módulo dinámico.
- ✓ En término de ensayos de campo, y para lograr conclusiones definitivas, se requiere un seguimiento de los tramos de prueba ejecutados hasta la fecha, para analizar la evolución del estado de las mezclas asfálticas colocadas en los distintos tramos bajo solicitaciones de vehículos pesados en velocidades y cargas reales de circulación.
- ✓ Finalmente, es indispensable continuar el estudio de los distintos aditivos disponibles en el mercado mundial.

Agradecimientos

Al Ingeniero Poncino H. de ITYAC, la Ingeniera Oviedo P. y el Técnico Rodríguez R. de OBRING, al Dr. Quevedo C. y los Técnicos Araujo M. y Volken M. de SACDE.

5 Referencias bibliográficas

[1] Roberts, F.L.; Kandhal, P.S.; Brown, E.R.; Lee, D.Y. and Kennedy, T.W. (1996). “Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction”.
[2] Norma de Ensayo IRAM 6845 (2016) “Métodos de ensayo para mezclas asfálticas en caliente – Partes 1, 2, 3, 4 y 5 - Ensayo de estabilidad y fluencia por el método Marshall”
[3] European Standard 12697 (2009) “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 22: Wheel tracking”.
[4] European Standard 12697 (2009) “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 26: Stiffness”.