

DISPERSIONES DE POLÍMERO LÍQUIDO SBR EN CEMENTO ASFALTICO EN CALIENTE. EXPERIENCIAS EN PROCESOS INDUSTRIALES

Gerardo Botasso¹, Cecilia Soengas², Oscar Rebollo³, Julián Rivera⁴, German Spinelli⁵, Carlos Del Pozo⁶

¹ 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

² Integrante LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Fac. Reg. La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina, csoengas@frlp.un.ed.ar

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

⁴ 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

⁵ Representante Técnico de BASF S.A., Tucumán 1, CABA, Argentina, german.spinelli@basf.com

⁶ Representante Técnico de PROBIAR S.A. Ruta Nacional 205 Km.69.200, Cañuelas, Buenos Aires, Argentina, carlos.delpozo@probiar.com.ar

Resumen

En la edición del CILA en la ciudad de Antigua, Guatemala, se han presentado los desarrollos alcanzados en relación a la posibilidad de dispersar emulsión de SBR en cementos asfálticos en caliente, con el propósito de demostrar su factibilidad a escala de laboratorio y a su vez explicar las ventajas que se producían con el uso de menor consumo energético en el proceso de dispersión.

En esta oportunidad se ha avanzado en experiencias a escala industrial, en torno a la modificación de asfaltos en una instalación existente en una industria de la provincia de Buenos Aires, considerando la posibilidad de utilizar diferentes tipos de modificadores en su concepción.

La instalación tipo batch, donde el proceso involucra un sistema de dispersión con energía y temperatura contralada, sin necesidad de uso de molinos coloidales, ha permitido disminuir los tiempos de dispersión cuando se utiliza un polímero de emulsión de SBR, como así también la temperatura final de mezclado.

En todos los casos en las experiencias realizadas se analizan los valores reológicos obtenidos sobre los ligantes, verificando su cumplimiento con las exigencias emanadas de la clasificación de los asfaltos AM-2 o AM-3 según normativa Argentina.

Se ha avanzado también en la utilización de las dispersiones obtenidas en mezclas asfálticas, por lo cual se compara la performance de las mismas cuando se utiliza este tipo de asfalto modificado versus un cemento asfáltico modificado con un polímero tipo SBS.

Palabras Clave: Asfalto Modificado, SBR, Planta Industrial.

1 Introducción

La modificación de los cementos asfálticos resulta ser algo complejo de estudiar considerando que existen muchos factores que intervienen a la hora de seleccionar el tipo de asfalto, el tipo de polímero, la afinidad entre ambos, la tecnología utilizada en el proceso de dispersión, la energía demandada, la estabilidad de la dispersión en el tiempo, y la valoración final sobre el propio cemento asfáltico como así también sobre la mezcla elaborada con el mismo.

La tecnología vial se encuentra frente al desafío de disminuir los consumos de energía en los procesos de generación de las mezclas asfálticas, promoviendo la exposición de los asfaltos a condiciones menos severas de temperatura, preocupando en la región que los proveedores de asfalto modificado no siempre cuenten con instalaciones adecuadas, que garanticen una correcta dispersión del polímero y la estabilidad del producto durante su traslado y manipulación en planta. Por lo expuesto, diseñar procesos que involucren menores temperaturas de trabajo, menor complejidad en la planta modificadora y la adición del polímero “in situ”, son parte de los objetivos a considerar [1].

Se ha diseñado a escala de laboratorio una instalación, la cual permite adicionar polímeros de manera estable en un cemento asfáltico en caliente “in situ”, cumpliendo con las normativas vigentes de

clasificación de los asfaltos modificados y su reología. Para ello se ha utilizado un polímero Estireno-Butadieno-Rubber (SBR) en forma de emulsión y un proceso de mezclado que reemplaza los molinos dispersores por un mezclado de baja acción mecánica. Este desarrollo se ha presentado en el CILA 2013 de Guatemala, con un diseño esquemático de una posible instalación industrial, que se constituyó en un layout de lo que podía ser la base para el desarrollo de una planta que permitiera replicar los resultados alentadores verificados en laboratorio [1].

Se establece como plan de investigación la posibilidad de establecer, como marco comparativo del trabajo, la relación entre dos cementos asfálticos modificados, uno con SBS y otro con emulsión de SBR a nivel de ligante y de prestación de una mezcla asfáltica del tipo densa. Se presentan las valoraciones realizadas sobre ambos sistemas, esta vez ambos realizados a escala industrial, puntualizando el tipo de instalación utilizada para la dispersión del SBR, procurando que se permita garantizar un umbral de prestación compatible con las exigencias de los Pliegos de Especificaciones Técnicas, para el uso de este tipo de asfaltos modificados.

Los asfaltos modificados para uso en caliente suelen ser producidos en plantas mediante la incorporación a un asfalto convencional base de un polímero del tipo SBS, el cual es un elastómero de tipo radial tribloque. Este tendrá un desempeño óptimo tanto a bajas como a altas temperaturas, reduciendo los riesgos de fisuración térmica, fisuración por rigidez y de ahuellamiento, pero deberá ser adquirido en volúmenes prefijados y almacenado por diversos periodos a temperatura con recirculación, de acuerdo a su tasa de empleo.

Por otro lado existen en el mercado polímeros modificadores del tipo SBR, que es un elastómero de configuración lineal, los que se presentan como una emulsión en agua, lo cual hace que se hayan empleado desde hace años como modificadores de emulsiones asfálticas. Este producto también puede ser empleado en la modificación de asfaltos en caliente directamente en la planta asfáltica, con un equipamiento mínimo y permitiendo la modificación de la cantidad de asfalto que se vaya requiriendo de acuerdo a la demanda, obteniéndose un producto que clasifica según la normativa IRAM correspondiente como AM-2 o AM-3 (calificaciones necesarias para su posibilidad de empleo en mezclas asfálticas modificadas). El presente trabajo aborda la experiencia llevada adelante y los resultados obtenidos que posibilitan arribar a esta afirmación, considerando el uso de una instalación industrial disponible en la provincia de Buenos Aires que permite utilizar cualquier tipo de polímeros tanto en forma sólida como líquida, siendo de antemano valorada como más positiva aquella dispersión que, desde el punto de vista del proceso, permita disminuir el tiempo de mezclado, la temperatura del sistema y la energía de dispersión (en su forma y consumo)

2 Modificación del cemento asfáltico

En este caso los materiales a utilizar en el desarrollo de la experiencia industrial presentan algunos condicionamientos iniciales, que han sido considerados como válidos por varias razones:

- Por un lado, ver que el funcionamiento de la instalación disponible guarde relación con la diseñada en la oportunidad de plantear la viabilidad del trabajo a escala industrial en el primer trabajo.
- Por otro, adaptar el desarrollo al tipo de ligante asfáltico habitualmente utilizado en el complejo industrial. En este caso es un CA-10, el cual se encuentra estoqueado en el predio en condiciones adecuadas, en reemplazo del CA-20 que se ha utilizado en el desarrollo inicial en el año 2012.

Con estas dos condicionantes se plantea el desarrollo a escala industrial de modificar asfalto con emulsión asfáltica de SBR en un cemento asfáltico en caliente.

2.1 Los cementos asfálticos de referencia

El cemento asfáltico utilizado en la experiencia en la planta posee las siguientes características descritas en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Norma IRAM	Valor	Valores según 6835	Límites IRAM
				Mín.	Máx.
Punto de Ablandamiento	°C	6841	48	---	---
Viscosidad a 60 °C (Aguja 29 y 1 RPM)	dPa.seg	6837	1190	800	1200
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s)	0.1 mm	6576	84	-1.5	0.5

En la Tabla 2 se pueden observar los valores del cemento asfáltico AM-3 de disponibilidad comercial en Argentina, modificado con SBS.

Tabla 2. Caracterización del AM-3 de comparación

Características	Valor
Clasificación (según IRAM 6596)	AM-3
Penetración (IRAM 6576)	52 .0,1 mm
Punto de Ablandamiento (IRAM 6841)	80 °C
Viscosidad a 170 °C (IRAM 6837)	5,8 dPa.seg
Rec. Elást. Torsional (IRAM 6830)	71 %
Grado PG	76-22
DSR s/m virgen a 76 °C (G^* , δ , $G^*/\text{sen } \delta$)	1,05 kPa, 66,5°, 1,15 kPa
DSR s/m envejecida RTFOT a 76 °C (G^* , δ , $G^*/\text{sen } \delta$)	2,56 kPa, 68,8°, 2,74 kPa

2.2 La emulsión de SBR

Desde la década de 1930 se conocen en Alemania los procesos de polimerización del SBR conocido en su momento como Buna S. Actualmente son una de las emulsiones más estables, considerando su elevado contenido de sólidos. Los procesos de generación de este tipo de emulsión, ya desde su origen se generan con bajos consumos de energía.

La performance del SBR tratado a bajas temperaturas en el proceso de emulsificación garantiza un mejor desempeño posterior del mismo, en cualquier tipo de proceso en el que participe. Esto hace que posea menos ramificaciones que en proceso de SBR en caliente. El porcentaje habitual de estireno sobre el butadieno oscila entre el 25 y 40 %, mientras que la relación del grupo SBR sobre el contenido de agua puede llegar a valores de hasta el 65 %.

Las propiedades mecánicas del SBR son conocidas por su alto poder de recuperación, resistencia a la tracción y deformaciones [2]. La variación en las propiedades mecánicas también se encuentra relacionada con las proporciones de estireno butadieno presentes en el contenido de sólidos de la emulsión.

En la Tabla 3 se pueden apreciar los valores determinados sobre la emulsión de SBR utilizada

Tabla 3. Características de la emulsión de SBR

Determinación	Valor
PH	5,3
Contenido de coágulos	0,0038 % en peso
Densidad	7,92 lb/gal (0,943 g/cm ³)
Viscosidad Brookfield	1200 cP
Sólidos	64,6 % en peso

2.3 Descripción del proceso de aditivación seleccionado

El proceso de aditivación cumple con las siguientes premisas de diseño consideradas como ventajosas a la hora de su utilización:

- Garantiza la no formación de vórtice en el proceso de dispersión, no oxigenando y oxidando la dispersión.

- Utiliza dispersores de paleta y bombas de inyección del polímero, sin necesidad de contar con molino coloidal.
- La incorporación de la emulsión de SBR se realiza sin formación de espuma.
- Se dispone de un control de velocidad de aplicación del SBR, el cual permite regular la velocidad de incorporación del polímero hasta alcanzar la velocidad máxima de aplicación sin que forme espuma.
- Posee un sistema de calentamiento que permite el mantenimiento de las condiciones de temperatura durante el proceso. El asfalto debe mantener la temperatura a pesar de la incorporación de la emulsión de SBR en condiciones ambientales.
- Permite que se generen dos tipos de corrientes en el proceso. Una que disperse en forma radial y otra lo hace en forma vertical. De ese modo se garantiza la dispersión en todo el recipiente del polímero y la estabilidad de la temperatura del sistema. Se debe evitar la formación de corrientes tangenciales que son las que ocasionan la formación de vórtice en el sistema.
- El mantenimiento de la temperatura en el sistema se hace por medio de un intercambiador que permite una distribución uniforme del mismo. Este intercambiador es eficiente, con baja inercia térmica.

Las etapas del proceso productivo de modificación de cemento asfáltico con emulsión de SBR pueden considerarse en forma conceptual son:

- Recepción y almacenamiento de materias primas

En este caso particular, el sistema dispone de tres tanques verticales. Uno que normalmente solo almacena, el de la izquierda, que se puede observar en la Figura 1. Por otro lado, los otros dos pueden almacenar y/o dispersar polímeros. En la parte central, entre sendos tanques, se puede observar la posibilidad de incorporar polímero sólido por la columna central. En este caso en el tanque central se puede observar el bombeo desde los bidones azules del polímero líquido. La capacidad de cada tanque es de 30 Tn. En la segunda parte de la Figura 1 se puede observar el intercambiador de calor común a los tres tanques de tipos vertical disponibles en la planta.



Figura 1. Vista de los tres tanques verticales de la planta y detalle de sistema de calentamiento de unos de ellos

En este caso particular se ha utilizado el tanque de la izquierda para almacenar el cemento asfáltico CA-10 el cual fue traspasado en un total de 12 toneladas al tanque central para la realización de la experiencia piloto. Las 12 toneladas resultan necesarias para que se cubran sin inconvenientes los dos dispersores que con los que cuenta el sistema.

Los dos dispersores se pueden observar en la Figura 2. Uno vertical y el otro horizontal, poseen paletas que permiten el movimiento vertical y horizontal del sistema asfalto polímero, garantizando la formación de flujos explicitada con anterioridad, evitando la formación de flujos tangenciales.



Figura 2. Vista del mezclador horizontal y vertical

La velocidad de giro de los dispersores es variable, llegando a establecerse en aproximadamente 2000 rpm.

Los datos de diámetro, forma, angularidad, relación diámetro del dispersor versus diámetro del tanque se mantienen como datos confidenciales del sistema diseñado.

- Carga de materias primas en el tanque de mezcla

La emulsión de SBR disponible en tambores plásticos de 180 litros, los cuales se disponen en una plataforma intermedia y por medio de una bomba de flujo continuo, desde la parte superior del tambor abastece por una cañería de 1" la boca superior del tanque de mezclado. Se puede observar en la Figura 3 el sistema de inyección detallado.



Figura 3. Recipiente de emulsión de SBR y bomba de inyección.

La incorporación del SBR al asfalto se realiza por la parte superior del tanque vertical central, siendo esta abertura la que permitió la eliminación del vapor de agua generado al chocar la emulsión con el cemento asfáltico en caliente. En la Figura 4 se puede observar el proceso de apertura, vista del cemento asfáltico, incorporación de la emulsión de SBR y eliminación del agua en forma de vapor a la atmósfera.



Figura 4. Vista de la compuerta, del cemento asfáltico y de la incorporación del polímero

- Mezcla con calefacción de los componentes

El control de la temperatura resulta de vital importancia para el mantenimiento de las condiciones de la dispersión. Los tiempos de mezclado y de permanencia hasta la eliminación total del agua residual resultan estar directamente relacionados con la temperatura del sistema [3]. El cemento asfáltico se encuentra a la temperatura que requiera en el proceso, mientras que la emulsión de SBR se encuentra a temperatura ambiente. Esto provoca una disminución de la temperatura del sistema a medida que se incorpora el polímero, por lo cual se hace necesario mantener el sistema de intercambio de calor de calefacción durante todo el proceso. En la Figura 5 se muestra el tablero de control del intercambiador y las cañerías de alimentación del sistema de aceite del mismo.



Figura 5. Sistema de control de temperatura

- Tiempos y proporciones óptimos

El proceso de incorporación del polímero llevó su tiempo de ajuste a fin de optimizar las variables y costos de producción. Se puede decir que los principales ítems a considerar fueron:

- Caudal de incorporación de polímero
- Temperatura del sistema
- Tiempo de permanencia de la dispersión
- Porcentaje de polímero

- Porcentaje de sólidos de la emulsión de SBR

En la Tabla 4 se expresan los valores obtenidos. Se buscó llegar a producir un AM-3, con un costo de materiales y polímeros inferior al de este producto medio en el mercado, como para considerarlo una alternativa competitiva.

Tabla 4. Variables de producción

Variable	Valores
Caudal del aporte del polímero	900 lts en 40 minutos
Temperatura del sistema	155°C
Máximo descenso de temperatura	5 °C
Tiempo de permanencia	60 minutos incluido 40 minutos de elaboración
% de polímero en sólido	4,8 %
% de sólidos del polímero	64,6 %

Con el cemento asfáltico CA-10 la máxima cantidad de polímero incorporado es de 4,8 %. Mayores consumos reducen la rentabilidad del producto final.

- Descarga y almacenamiento del producto final

Una vez que se logra evaporar el agua y se homogeniza la dispersión del SBR, en un tiempo total de 60 minutos, se puede retirar el asfalto modificado con camión cisterna, o almacenarse en el tercer tanque que posee la planta. Los tiempos de mezclado y los porcentajes de polímero incorporados fueron chequeados en cada caso, comprobando por pruebas de laboratorio los resultados obtenidos en cada etapa, con porcentajes crecientes de polímeros.

2.4 Caracterización y clasificación del asfalto modificado obtenido

Una vez terminado el proceso de aditivación en porcentajes crecientes, se fueron tomando muestras del asfalto modificado como lo muestra la Figura 6.



Figura 6. Tomado de la muestra de asfalto modificado

Se procede luego a realizar la caracterización de las muestras mostrándose en la Tabla 5 los valores obtenidos sobre el porcentaje elegido.

Se puede observar que los valores obtenidos no alcanzan a cumplir con las exigencias de un AM-3. La recuperación elástica por torsión resulta estar un poco por debajo del 70 % exigido, mientras que el punto de ablandamiento se ubica por debajo de 65°C.

En la experiencia de laboratorio realizada en el año 2012, se alcanzaron los valores exigidos para un asfalto modificado AM-3, pero como se señalara se había partido de un cemento asfáltico CA-20, en lugar del CA-10 utilizado en este caso. Sin embargo, el PG del asfalto modificado mantiene el rango del AM-3 tomado como referencia en la Tabla 2, situación que se describe en la Tabla 5.

Tabla 5. Caracterización de Asfalto modificado en planta

Características	Valor
Clasificación (según IRAM 6596)	AM-2
Penetración (IRAM 6576)	72 en .0,1 mm
Punto de Ablandamiento (IRAM 6841)	61 °C
Viscosidad a 170 °C (IRAM 6837)	5,1 dPa.seg
Rec. Elást. Torsional (IRAM 6830)	67 %
Grado PG	76-16
DSR s/m virgen a 76 °C (G^* , δ , $G^*/\text{sen } \delta$)	1,02 kPa, 66,5°, 1,25 kPa
DSR s/m envejecida RTFOT a 76 °C (G^* , δ , $G^*/\text{sen } \delta$)	2,46 kPa, 68,8°, 2,58 kPa

2.5 Aplicación de CA-10, AM-2 con SBR y AM3 con SBS en una mezcla asfáltica del tipo densa.

Con el fin de poder observar las variaciones en las propiedades obtenidas, es posible encauzar estudios de su empleo en mezclas asfálticas [4, 5]. Para esto se diseña una mezcla del tipo CAC D19, con áridos 100% triturados provenientes de la zona de Tandil, Provincia de Buenos Aires, los cuales cumplen con todas las exigencias de forma, resistencia al pulimento, resistencia a la abrasión, limpieza, polvo adherido, equivalente arena, plasticidad de finos, etc. Se presenta a continuación en la Tabla 6, la combinación granulométrica de los agregados y filler utilizados.

Tabla 6. Curva granulométrica de la mezcla

Tamiz	Abertura	6:20	0:6	Cal	Curva Límite Inferior	Curva de la Mezcla	Curva Límite Superior
1	25400	100.0	100.0	100.0	100	100	100
¾	19100	99.8	100.0	100.0	83	99.9	100
½	12700	57.6	100.0	100.0	70	79.1	90
3/8	9520	25.7	100.0	100.0	60	63.4	75
N° 4	4760	1.3	92.5	100.0	45	47.6	60
N° 8	2380	1.0	65.3	100.0	33	33.9	47
N° 30	590	0.2	37.5	100.0	17	19.7	29
N° 50	297	0.2	26.5	99.8	12	14.3	21
N° 200	74	0.2	8.1	84.3	5	5	8
Dosificación de Áridos		49.3	49.7	1.0			

Para la estimación del contenido de asfalto óptimo se ha utilizado la metodología Marshall, arribando a las dosificaciones que se observan en la Tabla 7. Por cada tipo de asfalto se realizaron 5 puntos con contenidos crecientes de ligante. Para la mezcla con el ligante asfáltico CA-10 se procedió al moldeo a 140 °C, mientras que las dos mezclas con asfalto modificado se moldeó a 165 °C.

Tabla 7. Dosificaciones de las mezclas asfálticas CAC D19 con cambio de ligantes asfálticos

Materiales	Con CA-10	Con AM-3 SBS sólido	Con AM-2 SBR líquido
Piedra 6:20	47.18	47.13	47.13
Arena de trit, 0:6	47.56	47.51	47.51
Cal	0.96	0.96	0.96
Asfalto	4.30	4.40	4.40

3 Análisis sobre mezclas asfálticas

3.1 Determinaciones volumétricas y mecánicas del ensayo Marshall

Con las tres dosificaciones se obtuvieron los resultados expresados en la Tabla 8, producto de la verificación del punto óptimo determinado en el ensayo Marshall respectivo. Los agregados utilizados, como así también la dosificación obtenida, fueron los que se consideraron como los mejores posibles con los áridos y cementos asfálticos con los que se trabajó. No se ha tratado de optimizar la dosificación

generada, por ejemplo realizando correcciones sobre las condiciones granulométricas o de forma de los agregados. La idea central pasó por considerar una dosificación de base como blanco comparativo. De esta forma se llega a establecer la base para ver la incidencia de la variación del tipo del asfalto.

Tabla 8. Valores volumétricos y mecánicos Marshall con variación del tipo de asfalto

Parámetro (promedio)	Mezcla CAC	Mezcla CAC	Mezcla CAC
	D19 CA-10	D19 AM-3 SBS	D19 AM-2 SBR
Densidad Marshall (g/cm ³)	2.445	2.460	2.462
Densidad Rice (g/cm ³)	2.541	2.540	2.539
Estabilidad (Kg)	895	1047	985
Fluencia (mm)	4.8	3.5	3.10
Relación Estabilidad/Fluencia (Kg/cm)	2182	2991	3177
Vacíos	3.78	3.15	3.03
VAM	14.29	13.6	13.62
Relación Betún/Vacíos	73.57	95.7	77.72

3.2. Comportamiento de la mezcla asfáltica en el ensayo de Wheel Tracking Test

A fin de observarse la respuesta frente a ciclos de carga puede utilizarse el ensayo alcanzado por la norma europea EN 12697-22 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt –part 22: Wheel Tracking Test [7], se moldean para ello dos probetas por cada tipo de asfalto utilizado CA-10, AM-3 con SBS y AM-2 con la emulsión de SBR. En la Figura 7 se puede ver el proceso de moldeo y ensayo, mientras que en la Tabla 9 y la Figura 8 se pueden observar los valores obtenidos.



Figura 7. Vista de compactador Roler Compact y ensayo de WTT de las muestras

Tabla 9. Valores en el ensayo de WTT

Valores medidos	Mezcla CAC D19	Mezcla CAC D19	Mezcla CAC D19	Valores admisibles orientativos
	CA-10	AM-3 SBS	AM-2 SBR	
Densidad (g/cm ³)	2.423	2.441	2.446	
Coef. De compactación (%)	99.10	99.23	99.35	
RD: Prof. Huella (mm)	6.00	2.57	3.09	
PRD: Prof. Media Prop. (%)	12	5.14	6.18	5.5
WTS pendiente ahuell. (mm/10 ³ ciclos)	0.301	0.101	0.099	0.100

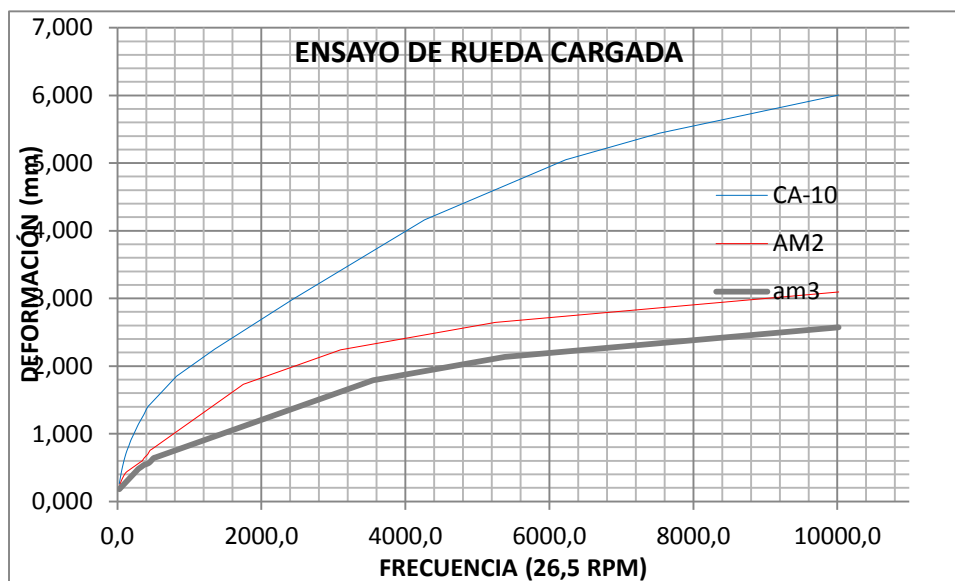


Figura 8. Curvas en el ensayo de WTT

4 Conclusiones

- La instalación industrial seleccionada, si bien no se realizó bajo con el esquema que se propusiera en el trabajo anterior presentado por los autores en el CILA 2013 de Guatemala, ha demostrado superar los requerimientos pensados en esa oportunidad.
- El sistema de inyección del SBR, con la bomba seleccionada ha permitido mantener el flujo continuo durante la dispersión.
- Es muy importante contar con un sistema de control de temperatura como así también un intercambiador de calor que permita mantener las condiciones operativas de la dispersión.
- La experiencia permitió observar que la temperatura de la dispersión puede ubicarse en los 155 °C. Al finalizar la incorporación de SBR se registró una baja máxima de 5°C. Estos valores son sensiblemente más bajos que las temperaturas alcanzadas en un proceso de dispersión de SBS.
- Hasta su utilización la dispersión ha permanecido estable. El proceso cercano a las potenciales obras permite un uso inmediato del asfalto modificado.
- Se ha partido utilizando en este caso un asfalto CA-10, por disponibilidad del mismo en el polo industrial de referencia. Esto ha condicionado la performance de la modificación. Incluso no ha coincidido con lo que se había planteado en laboratorio. Al ser esta una condición para poder operar la planta modificadora en forma inicial se consideró su utilización.
- Al agregar la máxima cantidad de polímero que permitiera la competitividad en costo de la dispersión, no se ha logrado modificar el asfalto hasta llegar a un AM-3. Si bien las variables evaluadas se ubicaron cercanas a las exigidas para ese tipo de asfalto modificado, no se ha llegado al mínimo del umbral. Por esta razón las próximas experiencias se recomiendan hacerlas con un CA-20 ya que se ha probado su utilidad para llegar a este objetivo.
- Sin embargo, la experiencia ha servido para demostrar que la instalación resulta ser eficiente y competitiva, permitiendo modificar un asfalto hasta llegar a superar las exigencias de un AM-2: El PG del asfalto AM-2 fue el mismo que el del AM-3 utilizado, lo que permite su uso en el mismo rango operativo. La recuperación elástica por torsión y el punto de ablandamiento son menores a los exigidos en un AM-3.
- Una vez realizadas las dosificaciones Marshall, se procedió a valorar el desempeño de mezclas del tipo CAC D19. Dicha mezcla no resulta ser una mezcla considerada como óptima, ya que no se hicieron correcciones ni cambios en las características de los áridos: Se logró así trabajar con una mezcla que permitiera establecer comparaciones relativas de desempeño.
- Los valores del ensayo de WTT, han permitido observar que la mezcla con AM-2 presenta una buena respuesta a las deformaciones plásticas permanentes, en especial la pendiente media de ahuellamiento WTS que se encuentra por debajo de 0.100 mm/10³ ciclos, mientras que la

profundidad proporcional de la huella PRD, se encuentra un poco por encima del 5,5 % considerado como valor recomendado.

- Se recomienda partir de la base de un CA-20 en el proceso de modificación, considerando que ese cambio permitirá replicar con mayor exactitud las experiencias de laboratorio.

5 Referencias

- [1] Botasso, G.; Rivera, J.; Spinelli, G. “Modificación de cemento asfáltico en caliente con emulsión de SBR” (238-1-93). XVII CILA Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Antigua, Guatemala 2013.
- [2] Angelone, S. “Comportamiento de materiales viales. Diseño y control de mezclas asfálticas frente a la deformación plástica permanente”, Tesis de postgrado, Universidad de Rosario, Argentina 2010.
- [3] Coe, D.; Cui, Z. “Determinación de la energía de activación de flujo en ligantes asfálticos”, XII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto CILA, Quito 2003. Disponible en [www: technopave.com/publications/CILA-2003](http://www.technopave.com/publications/CILA-2003).
- [4] Lucena, M.; Soares, S.; Soares, J. “Caracterização e comportamento térmico do asfalto modificado por polímero”, XV Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência de Materiais, CBECIMAT, Brasil 2002.
- [5] Mojica, Á.; Hernández, H. “Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente tipo 1 (MDC-1) empleando asfalto modificado con Polietileno de desecho”, Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia 2005.
- [6] Reyes, F. “Mezclas asfálticas modificados con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100)”, Infraestructura vial, Año 10, Número 17, Costa Rica 2007.
- [7] Rodríguez Talavera, R.; Castano Meneses, V.; Martínez Madrid, M. “Desarrollo de asfaltos modificados con hule SBR para pavimentos de alto desempeño. Publicación técnica 140, Instituto Mexicano del Transporte, México 2000.