

ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN CAP 50/70 MODIFICADO POR MEDIO DE POLIPROPILENO PARA LA XXXIX^o REUNION DEL ASFALTO – ENCUENTRO BINACIONAL

Leticia Ocampos Rotela¹, Noé Villegas Flores²

¹ Universidad Federal de Integración Latino-Americana, Foz de Iguazú, lety94ocampos@gmail.com

² Universidad Federal de Integración Latino-Americana, Foz de Iguazú, noe.flores@unila.edu.br

Resumen

En el sector de la tecnología de pavimentos asfálticos se ha venido desarrollando avances significativos en lo que respecta al mejoramiento de las prestaciones técnicas y económicas de cementos asfálticos. Distintas experiencias internacionales han permitido analizar y concluir que existe la posibilidad de prolongar la vida útil de los cementos asfálticos por medio de la modificación de la matriz asfáltica mediante componentes poliméricos. En ese sentido, la modificación asfáltica ha permitido en los últimos años, una redefinición de las condiciones de durabilidad a través de la caracterización de asfaltos modificados. Si bien, se han mejorado las prestaciones reológicas, químicas y mecánicas de este tipo de material con el reaprovechamiento de materiales generando nuevo material que alcancen altos estándares de comodidad y seguridad en pavimento asfáltico. Este trabajo de conclusión de curso presenta la caracterización de un cemento asfáltico de petróleo CAP 50/70 y uno modificado con polipropileno, los datos obtenidos fueron analizados y se pudo constatar que el material utilizado presenta una ligera mejoría en la consistencia del ligante asfáltico, aunque para el índice de susceptibilidad térmica los resultados se encuentran fuera de los parámetros mínimos de la normativa.

Palabras Clave: Asfalto modificado. Caracterización. Durabilidad. Polipropileno

1 Introducción

La calidad del pavimento asfáltico de una vía refleja, en cierta medida, el desarrollo económico y social de un país, es decir, una correcta infraestructura vial y estado de servicio adecuado, permite potenciar la productividad y competitividad regional. En cambio, una vía en malas condiciones reduce de forma significativa el “comfort” de tránsito y la seguridad del propio usuario (CTN, 2017) [1].

En la última década ha existido una creciente preocupación por atender las exigencias del calentamiento global y el cambio climático, siendo uno de los retos más importantes a los que se enfrenta la sociedad es el uso eficiente y económico de energía, así como la necesidad de disminuir los gases de efecto invernadero.

Dicha preocupación ha llegado al sector de las mezclas asfálticas donde se viene intentando innovar y desarrollar nuevos materiales para vías terrestres que sean respetuosos con el medio ambiente sin perder las respuestas mecánicas que ellos presentan.

En Brasil, según los datos del Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte (DNIT, 2006) [2], las carreteras en su mayoría, están revestidas por cemento asfáltico, la cual consiste en la mezcla de agregados con el ligante asfáltico, cuya función principal es soportar el tráfico.

Por tanto, las mezclas asfálticas deben presentar resistencia ante diferentes desplazamientos de vehículos, mostrar buena resistencia a la fatiga, como también a la deformación plástica, además de un adecuado grado de flexibilidad. Dicho desempeño de resistencia y durabilidad están directamente relacionadas con las propiedades del ligante-agregado, así como del proceso de elaboración, colocación y compactación (Cominsky et al., 1994) [3].

La tecnología más usada hoy en día para modificar las propiedades reológicas, térmicas y físico-mecánicas es la adición de polímeros a la mezcla asfáltica, optimizando su comportamiento cuando expuesta a diferentes condiciones de servicio (Castro; Rondón; Barrero, 2015) [4].

Es importante destacar que en Brasil el porcentaje de pavimentos de asfalto modificado con polímero aun es bajo (SANTOS, 2009), (<2% del asfalto modificado en relación al total del asfalto consumido) [5]. Con ello, los ligantes asfálticos modificados contienen agentes compatibles que impactan en las características y comportamientos reológicos del mismo asfalto

Cabe mencionar que existen varios estudios que sustentan las mejoras específicas que se busca en el material betuminoso. El comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas varía en relación a la composición del crudo de petróleo y propiedades del material polimérico a ser utilizado (Cruz; Porras, 2015) [6].

2 Metodología

A continuación, en la figura 1 se muestra la metodología de trabajo utilizada tanto para la caracterización del CAP 50/70 convencional, como para la modificación utilizando polipropileno.

El desarrollo del flujograma, se entiende como una forma simple y gráfica para orientar el lector en posibles etapas experimentales futuras y otorgar la reproductividad al estudio desarrollado. Es importante destacar, que los ensayos propuestos son considerados como básicos dentro de una primera fase de experimentos, dejando abierta la posibilidad de nuevos procesos y porcentajes de estudio del material utilizado.

La figura 1 muestra en sí, el flujo de procesos desarrollados en la fase experimental. Como puede observarse en el proyecto experimental se ha definido el problema a partir de la necesidad de mejorar las prestaciones de un material asfáltico, en virtud de las distintas manifestaciones patológicas ocurridas en pavimentos asfálticos.

Se ha desarrollado 4 ensayos básicos de caracterización del material, incluyendo RTFOT para el caso del CAP 50/70 sin modificación. Se ha desarrollado una campaña experimental paralela para modificar el asfalto con 3 materiales basados en material polipropileno con porcentajes de 0,5%, 1% y 1,5% para cada tipo de material.

De la misma forma, se ha realizado un estudio de termogravimetría básica para observar dos condicionantes principales. Determinación del punto de fusión del

material a ser adicionado, en este caso de polipropileno y observar la pérdida (o no) de masa del material en cuestión.

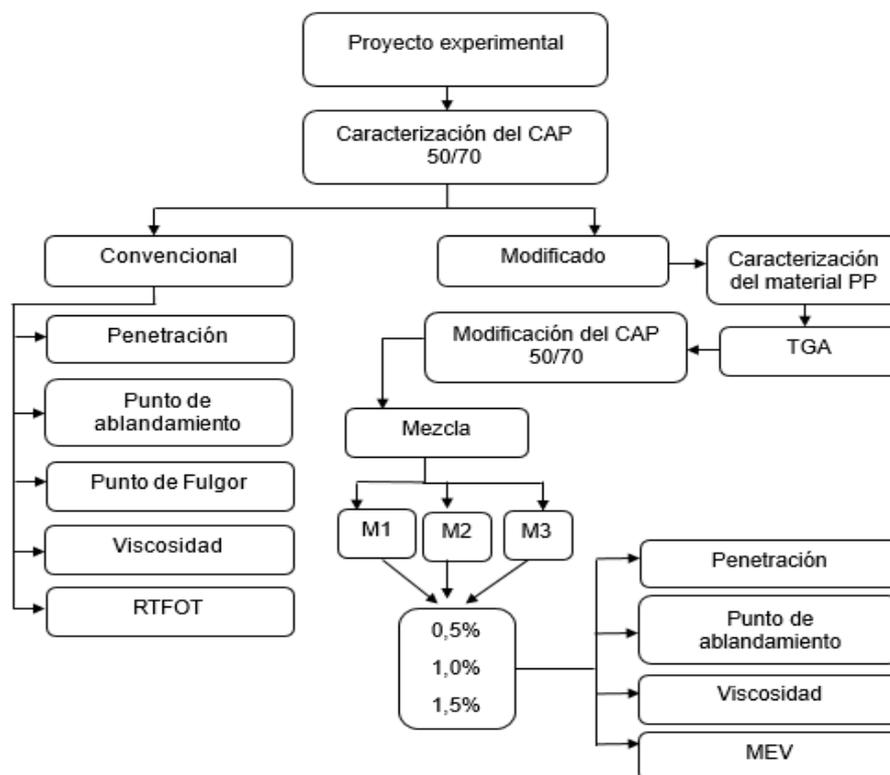


Figura 1. Flujograma de ejecución del trabajo

2.1 Caracterización del cemento asfáltico de petróleo CAP convencional

El cemento asfáltico CAP con grado de penetración 50/70 ha sido el material utilizado para la elaboración de los siguientes ensayos, dicho material ha sido almacenado en un tambor de acero inoxidable con capacidad de 20l suficiente cantidad para la realización de los ensayos. Enseguida, el material fue depositado en recipientes (por separado), para realizar cada uno de los ensayos específicos, esto con el objetivo de evitar el envejecimiento prematuro del ligante durante toda la campaña experimental

Los ensayos desarrollados para la caracterización del asfalto convencional se indica a continuación, en la tabla 1. El procedimiento del ensayo ha sido ejecutado utilizando la normativa brasileña vigente.

Tabla 1. Ensayo realizado al cemento asfáltico convencional 50/70

Ensayo	Norma	
Penetración	ABNT NBR	6576 :2007-DNIT-ME 155/2010
Punto de ablandamiento		6560:2016-DNIT- ME131/2010
Punto de inflamación		11341:2014
Viscosidad rotacional		15184:2004
Envejecimiento		15235:2009

2.2 Caracterización térmica del polipropileno

Para la caracterización térmica del polipropileno (PP), se ha desarrollado un análisis termogravimétrico (TGA), este ensayo permite computar el cambio que experimenta la muestra de polipropileno (variación de masa) a cierta temperatura o tiempo bajo condiciones controladas.

Esta técnica en general es usada para señalar la descomposición del material e indicar su estabilidad térmica a altas temperaturas. Fue importante realizar el estudio termogravimétrico para determinar el punto de fusión del material que será incorporado al asfalto para la modificación y realizar el procedimiento de mezcla. En la figura 2 se muestra el equipamiento usado para realizar este ensayo STA 8000 TGA.



Figura 2. Equipamiento TGA

2.3 Modificación del asfalto

La modificación del cemento asfáltico de petróleo CAP 50/70 se ha realizado utilizando desechos de polipropileno (PP), lo que comúnmente se utiliza para las bebidas en eventos llamados (sorbetes o pajitas). La figura 3 muestra tres tipos de materiales utilizados, los cuales fueron homogeneizados en su granulometría.



Figura 3. Polipropileno usado para modificar el CAP

Las tres muestras de material fueron cortadas manualmente de tal forma que sus dimensiones pasen el tamiz N°10. La modificación ha sido realizada con tres porcentajes diferentes de polipropileno y tres diferentes materiales para observar si existe alguna variación (tabla 2).

Tabla 2. Porcentajes de modificación utilizada

CAP	Polipropileno	Contenido (%)		
		0.5	1	1.5
50/70	Material 1	0.5	1	1.5
	Material 2			
	Material 3			

Para la mezcla del asfalto modificado se utilizó 1000 gramos de cemento asfáltico de petróleo (CAP) a una temperatura de 135°C suficiente para que la muestra se encuentre fluida y pueda ser trabajada con mayor facilidad, inmediatamente el material asfáltico fue puesto dentro de un becker y el mismo colocado dentro de una manta calentadora como se muestra en la figura 4, esta manta permite controlar la temperatura y evitar que el asfalto se torne sólido. Seguidamente se ha adicionado gradualmente el material modificante polipropileno (PP) con los diferentes porcentajes de modificación ya señaladas.

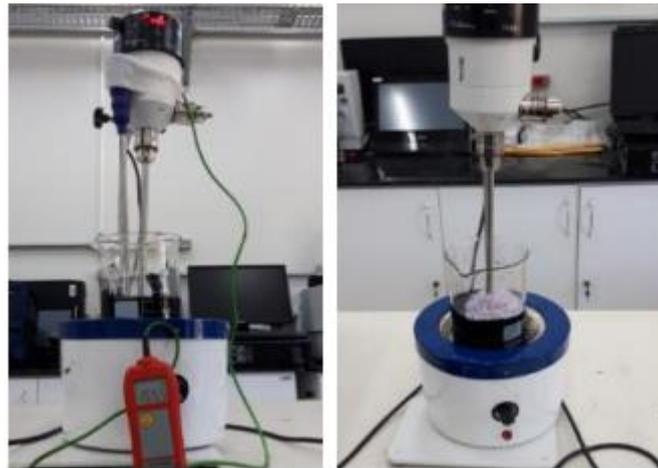


Figura 4. Equipamiento utilizado para modificar el asfalto

Durante el proceso la temperatura fue controlada por medio del termómetro digital, evitando pasar los 160°C (temperatura de fusión del PP), el tiempo de mezclado fue de 30 minutos, revolución de 290 rpm. En la tabla 3 se observa los ensayos realizados para la caracterización del asfalto modificado.

Tabla 3. Ensayo realizado al cemento asfáltico convencional 50/70

Material	Ensayo	Norma
CAP 50/70 + %PP	Penetración	ABNT NBR 6576 :2007-DNIT-ME 155/2010
	Punto de ablandamiento	ABNT NBR 6560:2016-DNIT- ME131/2010
	Viscosidad rotacional	ABNT NBR 15184:2004

2.4 Microscopio electrónico de barrido MEV

El microscopio electrónico de barrido es un ensayo que permite evaluar la morfología de las muestras, además ayuda a identificar la composición química y mineralógica de los materiales.

Este ensayo fue utilizado para obtener imágenes de alta resolución de una superficie en particular del asfalto. Para que el equipamiento pueda efectuar las imágenes adecuadamente, la muestra utilizada debe ser conductiva.

Primeramente, el material (asfalto modificado) es puesto dentro de una porta muestra, luego utilizando el Sputter coater quorum SC7620 (cuya función es generar

campos magnéticos y eléctricos con la finalidad de confinar las partículas) fue depositado el oro-paladio en la muestra de asfalto modificado, figura 5.



Figura 5. Porta muestra y el sputter quorum SC7620

Una vez que las muestras se tornan conductivas es posible tomar las fotografías del microscopio electrónico de barradura (MEV). El equipo utilizado se muestra en la figura 6 (izquierda), las muestras son colocadas dentro de la cámara de vacío, una vez alcanzado es posible obtener las imágenes necesarias en varias aproximaciones.



Figura 6. Microscopio electrónico de barradura MEV

3 Resultados

3.1 Caracterización del cemento asfáltico convencional

A continuación, en la tabla 4, se muestran los valores de referencia de la normativa brasileña y en la última columna los resultados asociados al desarrollo de cada ensayo del asfalto convencional.

Tabla 4. Caracterización del asfalto 50/70 convencional

Ensayo	Unidad	Recomendado	Resultado
Penetración (25°C, 100g, 5s)	0.1mm	50-70	54
Punto de ablandamiento	°C	Min.46	46
Viscosidad Brookfield a 135°C spindle 21, 20rpm	cP	-	375
Punto de Inflamación	°C	235	244

En la tabla 5 se muestran los resultados del asfalto convencional envejecido a corto plazo RTFOT, aquí se aprecia que el asfalto sufrió una reducción en su masa luego del envejecimiento, los resultados muestran que la pérdida por evaporación de volátil es mayor a la ganancia de peso por oxidación, con esta pérdida de volátil se observa un aumento del punto de ablandamiento de 5,85°C. Los resultados de penetración retenida, punto de ablandamiento, pérdida de masa se encuentran dentro del rango aceptable según lo recomendado.

Tabla 5. Caracterización del asfalto 50/70 convencional envejecido RTFOT

Ensayo	Unidad	Recomendado	Resultado
Penetración (25°C, 100g, 5s)	0.1mm		34
Penetración retenida	%	Min.55	64
Aumento del punto de ablandamiento	°C	Max. 8	5.85
Variación de masa	%	0.5	-0.2

3.2 Caracterización del Polipropileno

En las siguientes figuras se muestran los resultados de los termogramas obtenidos mediante el ensayo de termogravimetría (TGA) para el polipropileno, este procedimiento ha sido realizado con el fin de obtener la temperatura de degradación del material modificante, de modo a conocer la temperatura mínima de trabajo para la de modificación en el laboratorio.

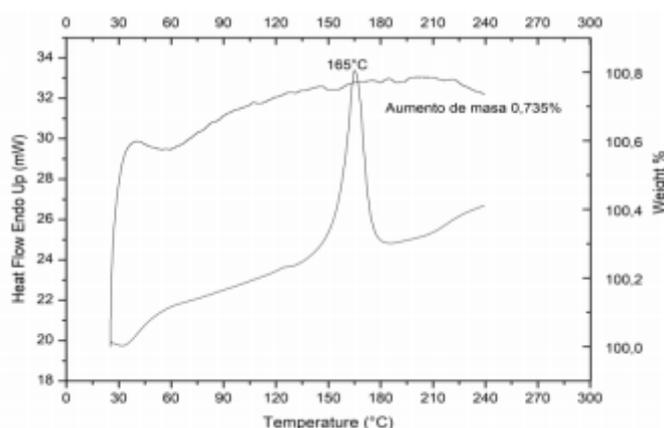


Figura 7. Termograma del material 1

En la figura 7 se observa que el polipropileno M1 utilizado comienza a degradarse alrededor de los 35°C de manera ascendente llegando al pico máximo de degradación alrededor de los 165°C, por otra parte, también se observa que material aumenta rápidamente de masa al inicio de los 30°C, así el aumento oscila alrededor de 0.735%.

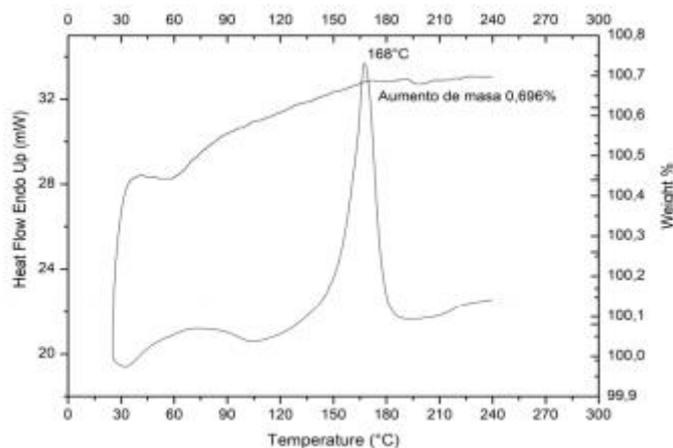


Figura 8. Termograma del material 2

Para el caso del material 2, el polipropileno comienza a degradarse de manera similar al anterior (ver figura 8) llegando a la temperatura máxima de degradación aproximadamente 168°C, en este caso el aumento de masa es igual a 0.696% menor que la anterior.

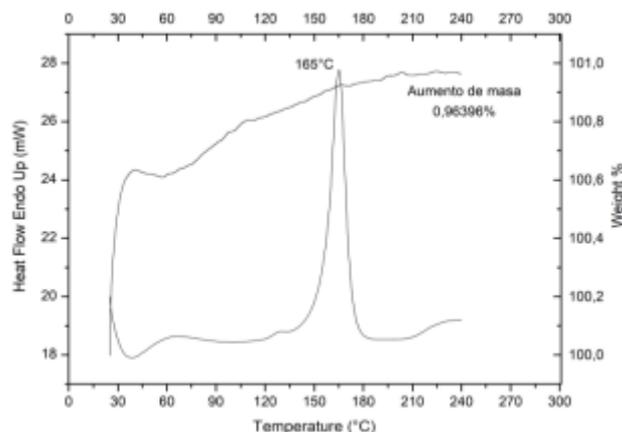


Figura 9. Termograma del material 3

El en caso del material 3, se observa que el aumento de masa es mayor en comparación a los anteriores con un valor de 0,963% con respecto a la masa inicial, la temperatura de degradación es 165°C lo que indica que no se podrá trabajar con temperaturas mayores a esa durante la modificación del material.

3.3 Caracterización del CAP 50/70 modificado con polipropileno

3.3.1 Penetración

A continuación, la figura 10 muestra el resultado obtenido del CAP modificado con las diferentes adiciones de polipropileno. Se observa un aumento en la consistencia del ligante estudiado, razón por la cual la penetración disminuye en comparación al ligante convencional. Otro punto a resaltar es que a mayor adición del contenido de polipropileno (PP), el valor de la penetración disminuye.

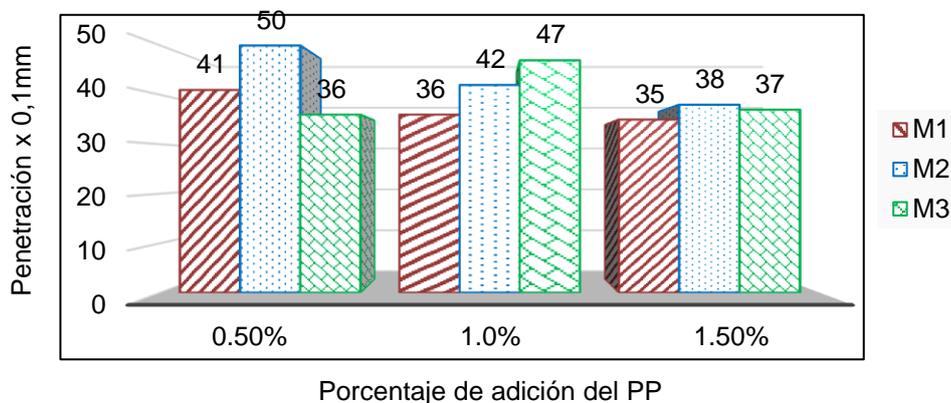


Figura 10. Valores de penetración para el CAP 50/70 modificado

El material 1 y 2 presenta una tendencia lineal a mayor adición del polipropileno, mayor consistencia del ligante. El material 2 posee una textura más dura que el material 1 al realizar la modificación también se obtuvo valores de penetración menores al convencional cuando se aumenta el porcentaje de adición del polipropileno. Otro punto a resaltar es que en el material 2 (CAP 50/70 + 0.5% PP), el valor del grado de penetración es más próximo al cemento asfáltico de petróleo convencional.

Por último, el material 3 que posee una textura intermedia entre el material 1 y material 2, al realizar la modificación también se obtuvo valores de penetración menores al convencional, aunque en comparación al resultado de los dos materiales anteriores que tendían a disminuir la penetración a mayor adición de polipropileno, en este material se observa que al modificar el CAP 50/70 +1.0% PP el grado de penetración aumentó a 47, esta variación pudo darse al momento de la ejecución del teste de penetración debido a la fuerza manual aplicada al penetrómetro que resulto en dicha lectura de la penetración.

3.3.2 Punto de ablandamiento

Los resultados obtenidos del ensayo de punto de ablandamiento para el asfalto modificado con diferentes porcentajes de contenido de polipropileno, muestra un leve mejoramiento en la temperatura del asfalto, aunque insignificativa comparado al asfalto convencional como se observa en la siguiente figura.

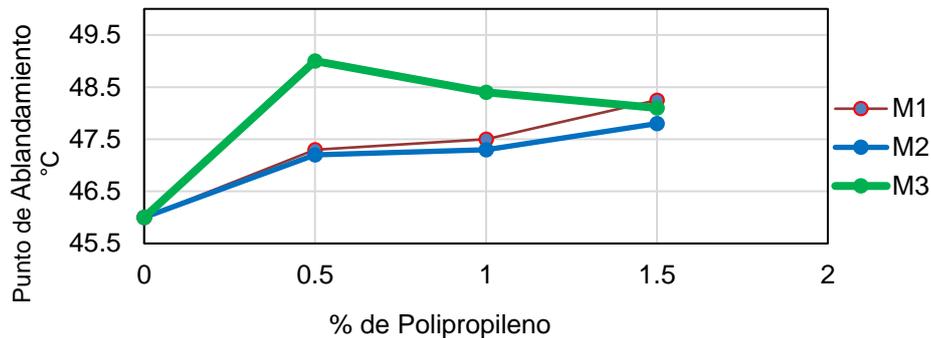


Figura 11. Valores del punto de ablandamiento para el CAP 50/70 modificado

Para el material 1 y 2 el punto de ablandamiento con adición del 0,5% y 1,0% de polipropileno se percibe un leve aumento de 1,5°C aproximadamente este resultado indica que no hay un aumento significativo de rigidez del asfalto luego de la modificación con ese contenido de material modificante. En cambio, para el material 3 aumento significativamente el valor del punto de ablandamiento en comparación a los demás materiales, aunque sea mínima la rigidez del asfalto mejoró.

De acuerdo con la figura 11 comparando los 3 materiales de modificación con los diferentes contenidos de polipropileno se aprecia que el material 1 y material 2 tiene una tendencia casi similar, va aumentando a medida que la adición de PP aumenta, en cambio el material 3 tiene un comportamiento diferente, es decir el mayor valor de punto de ablandamiento se observa con la adición de 0.5% de polipropileno y el menor valor del punto de ablandamiento con 1.5% de polipropileno.

3.3.3 Viscosidad

Es importante la determinación de la viscosidad del ligante asfáltico, para determinar la consistencia adecuada que presente una excelente cobertura para los agregados una vez realizada la mezcla, además de establecer la consistencia adecuada en el momento de aplicación en campo.

Comparándose el resultado de viscosidad del asfalto convencional hubo un aumento de la viscosidad con la adición del polímero. Por citar un resultado, el valor de viscosidad obtenido con el asfalto convencional fue 375cP a 135°C con la adición de 0.5% de PP la viscosidad aumento a 496 cP para el material 1.

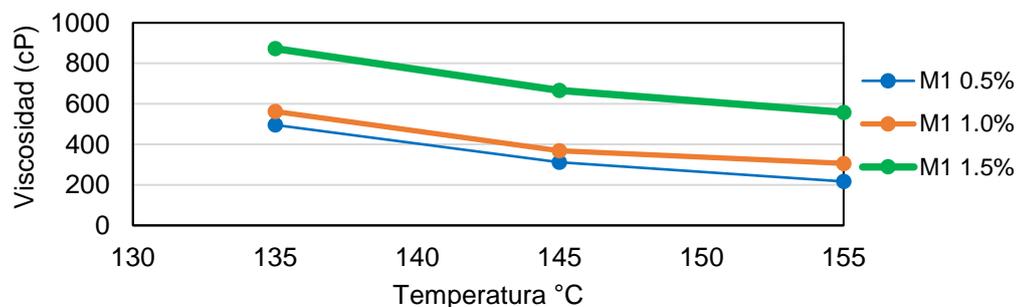


Figura 12. Valores de viscosidad con diferentes porcentajes adiciones de PP a diferentes Temperatura M1

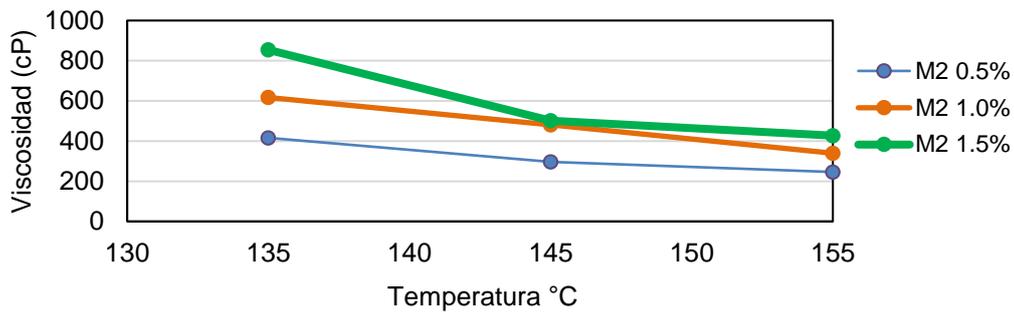


Figura 13. Valores de viscosidad con diferentes porcentajes adiciones de PP a diferentes Temperatura M2

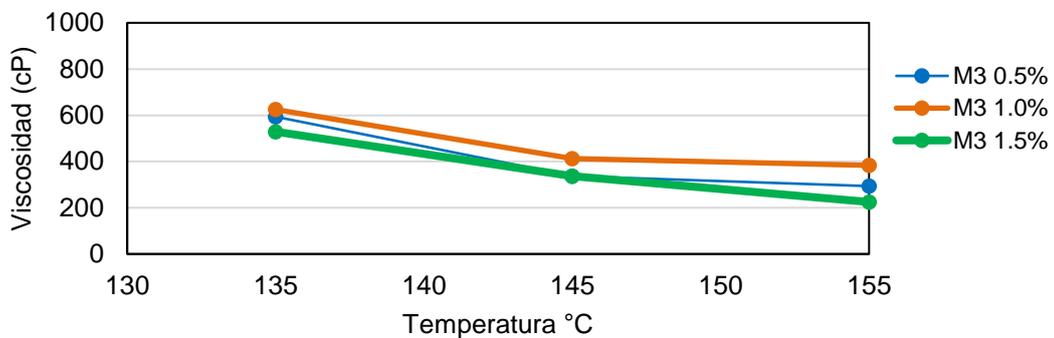


Figura 14. Valores de viscosidad con diferentes porcentajes adiciones de PP a diferentes Temperatura M3

En la figura 12, 13 y 14 se observa que la tendencia de la viscosidad está relacionada al aumento de temperatura y al incremento de la adición del polipropileno. Estas variaciones del valor a diferentes temperaturas se deben a la susceptibilidad que presenta el ligante al cambio de temperatura.

3.3.4 Caracterización morfológica del asfalto modificado

En esta sección se presenta los resultados obtenidos de la caracterización morfológica del asfalto por medio de imágenes obtenidas del microscopio electrónico de barrido (MEV). Esta caracterización por método de microscopia ayuda a determinar si existe alguna compatibilización entre el asfalto y el polipropileno, el polímero estudiado en este trabajo.

En el artículo realizado por (Figueroa; Fonseca; Reyes, 2009) [7], menciona que cuando se realiza la mezcla del polímero con el asfalto puede ocurrir tres casos, el primero mezcla homogénea (*incompatibilidad del polímero-asfalto*), el segundo caso mezcla totalmente homogénea (*ligante estable, pero la modificación es muy débil y solo aumenta la viscosidad*) por último, mezcla micro heterogénea (*compatibilidad deseada*). De esta forma, los resultados obtenidos en el laboratorio la modificación del asfalto con el polipropileno se encaja en el caso 2.

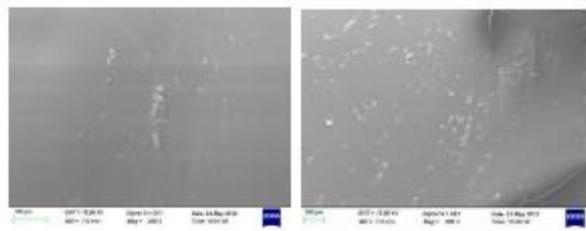


Figura 15. Imágenes microscópicas del asfalto modificado M3

4 Conclusión

El objetivo de este trabajo ha sido el de caracterizar el cemento asfáltico de petróleo CAP 50/70 convencional y modificado mediante el uso de polipropileno (PP), de modo a evaluar los resultados obtenidos mediante las normativas vigentes en Brasil. De manera general el ligante asfáltico convencional ha cumplido de forma satisfactoria con los requerimientos mínimos.

En el ensayo de penetración del cemento asfáltico de petróleo (CAP) modificado con polipropileno (PP), se obtuvo una reducción de los valores de penetración comparado al resultado del asfalto convencional. Además, se observó que el material 1 y 2 presentan una tendencia lineal, a mayor contenido de polipropileno (PP) menor valor de penetración, comparando al material 3 cuyo comportamiento fue diferente a los anteriores. Por lo tanto, estos resultados de penetración indica aumento de la consistencia del asfalto con el aumento de la adición del polipropileno.

Con respecto al punto de ablandamiento, que tiene relación con la resistencia del ligante a la deformación permanente el resultado obtenido fue un leve incremento de la temperatura para los materiales utilizados en la modificación comparado al asfalto convencional. Para el material 3, con adición del 0,5% de polipropileno se muestra un aumento de 3°C a comparación de las adiciones de 1% y 1,5% que muestran un aumento de 2°C aproximadamente. De forma general, es muy importante considerar para las regiones con elevadas temperaturas o grandes amplitudes térmicas, valores del punto de ablandamiento ya que esta se relaciona al comportamiento que experimenta el asfalto a elevadas temperaturas de servicio generando diversas patologías entre ellas (roderas, ahuellamientos).

En relación a la viscosidad, hubo aumento de la misma para los asfaltos modificados, a mayor contenido de polipropileno mayor viscosidad y cuando la temperatura aumenta menor viscosidad del material.

Con el resultado de termogravimetría se observa que el material no puede ser mezclado a temperaturas superiores a 160°C, punto de fusión del material. Por lo tanto, este valor ha sido importante durante el proceso de modificación, para evitar el sobrecalentamiento del cemento asfáltico durante el proceso de mezclado.

Con respecto a la caracterización morfológica podemos concluir que las imágenes obtenidas del microscopio electrónico de barrido MEV permitió clasificar la mezcla como totalmente homogénea, con una modificación de sus propiedades baja respecto al asfalto convencional. Esto también se pudo percibir con respecto a los demás ensayos de caracterización donde los resultados obtenidos del CAP 50/70 modificado presentaron incrementos leves.

5 Referencias.

- [1] Pesquisa CNT de rodovias. "Relatório Gerencial". Brasília, 2017.
- [2] Departamento nacional de infraestrutura de transporte DNIT. "Manual de pavimentação", IPR 719, 3.Ed, pp. 274. 2006.
- [3] Cominsky, R et al. "The superpave mix design manual for new construction and overlays". Strategic Highway Research Program Shrp-a-407, Washington-DC. Tomo I, pp. 184, 1994.
- [4] Castro, W.A., Rondón, H.A., Barrero, J.C. "Evaluación de las propiedades reológicas y térmicas de un asfalto convencional y uno modificado con un desecho de PEBD", Revista Ingeniería, Vol.21, n.1 , pp. 7-18. 2015.
- [5] Santos, M.R. "Efeitos de aditivo tipo óleo e enxofre na reologia de asfaltos modificados com SBS", Tese Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp. 118. 2009.
- [6] Cruz, L.M., Porras, A. "El efecto de materiales de desecho en el comportamiento de la mezcla asfáltica", Tesis Licenciatura, Universidad Fidelitas, Costa Rica. 2015.
- [7] Figueroa, A.S., Fonseca, E.B., Reyes, F.A. "Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado", Revista Científica Javeriana, Vol.13, n.1 , pp. 45-70. 2009.