

MATERIALES DE DESECHO COMO MODIFICANTES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

José Pablo Aguiar Moya¹, Laura Marcela Cruz Abarca², Alejandro Porras Méndez³,
Adriana Vargas Nordbeck⁴, Luis Guillermo Loria Salazar⁴

¹Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. jose.aguiar@ucr.ac.cr

²Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Fidélitas, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. laucruz226@hotmail.com

³Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Fidélitas, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. alepm-92@hotmail.com

⁴Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. adriana.vargasnordbeck@ucr.ac.cr

⁵Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. luis.loriasalazar@ucr.ac.cr

Resumen

El control de materiales de desecho es complejo, generando que en muchos casos estos sean descartados de formas no adecuadas para con el ambiente. Por este motivo se ha trabajado en un proyecto de recuperación de materiales de desecho como posibles modificantes del asfalto utilizado en mezclas asfálticas. En el presente trabajo se realiza un análisis y comparación de mezclas asfálticas originales y modificadas con materiales de desecho, tales como: el bumper (desecho de parachoques de automóviles) y el polipropileno, con el fin de contribuir a la reutilización de este tipo de desechos y directamente mejorar el desempeño de las mezclas asfálticas.

La investigación se fundamenta en la caracterización del asfalto modificado y la posterior verificación del desempeño en la mezcla asfáltica diseñada según la metodología Superpave. El asfalto modificado fue diseñado para determinar un contenido mínimo idóneo de modificante (material de desecho). Con base en el contenido óptimo, se verificaron las propiedades básicas del asfalto, así como su resistencia a la deformación y a la fatiga mediante ensayos reológicos utilizando el reómetro dinámico de cortante (DSR).

A nivel de mezcla asfáltica se realizaron ensayos de deformación permanente con el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), se verificó la rigidez de la mezcla mediante evaluación del Módulo Resiliente a la Tensión Indirecta y se estudió la resistencia al daño por humedad con base en la Resistencia Retenida a la Tensión Diametral.

Se pudo determinar cuantitativamente que el material de desecho presenta un beneficio sobre el comportamiento del asfalto, y de la mezcla asfáltica, principalmente aportando a la resistencia a la deformación permanente y a la humedad. El aporte en cuanto a fatiga no fue significativo. Sin embargo, el modificante no generó un efecto negativo en ninguno de los parámetros analizados.

Palabras clave: materiales de desecho, bumper, polipropileno, desempeño, MSCR, fatiga, módulo resiliente, APA, daño por humedad

1 Introducción

En la actualidad, los pavimentos convencionales no siempre son capaces de responder adecuadamente ante las exigencias ambientales y al aumento de las cargas provocado por el elevado volumen de tránsito. Por tal motivo, se requiere modificar el asfalto y las granulometrías convencionales de las mezclas asfálticas, con el fin de desarrollar pavimentos idóneos para contrarrestar el efecto de las condiciones previamente mencionadas.

El objetivo principal de modificar el asfalto es mejorar las propiedades mecánicas bajo las condiciones de servicio a las que este estará sometido (temperatura, clima, zona geográfica y tipo de tráfico). De esta manera, se busca diseñar materiales resistentes a los esfuerzos de tensión, corte y a la deformación, generando que los mismos se desempeñen apropiadamente y presenten una mayor vida útil de servicio.

Considerando que la modificación de asfaltos es una práctica cada vez más común (dependiendo del material a utilizar), es de interés identificar si la modificación puede ser realizada mediante el uso de materiales que pueden presentar un impacto ambiental severo debido a razones como contaminación o dificultad de desecho. Para el caso de Costa Rica, dos candidatos son el bumper de automóviles y el polipropileno para el empaque de banano. Es de resaltar que debido a las políticas país, cada vez más los desechos se vuelven en aliados para el aporte en la ciencia y tecnología, debido a una creciente preocupación de la ciudadanía por analizar como reutilizarlos y reciclarlos. Con esta investigación se pretende darles un mejor uso, para así, evitar su degradación y reducir las emisiones de gases contaminantes.

2 Materiales de Desecho como Modificantes de Asfalto

La experiencia de la modificación del asfalto con materiales de desecho es poca, con excepción de ciertos polímeros reciclados y comerciales [1,2]. Estos cuentan con estudios que dan soporte a mejoras específicas que se desean adquirir en el asfalto. Por lo general, lo que se espera es un aumento en la resistencia a la deformación permanente, a la fatiga y al daño por humedad, además de reducir la susceptibilidad térmica [3].

El comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas depende de las propiedades, composición y características del polímero a utilizar [4]. Por lo tanto, se brinda una descripción de los materiales de desecho en estudio:

- **Bumper (parachoques de vehículos):** este material posee diversos componentes con diferentes propiedades y en determinadas ocasiones no presentan los mismos compuestos, por lo que no se puede dar una clasificación exacta del material. Entre los compuestos que contiene el bumper se encuentran mezclas de policarbonato, poliéster termoplástico, resina de plástico, polipropileno reforzado con fibras de vidrio o poliuretano con rellenos de espuma de poliuretano y olefinas termoplásticas reforzadas [5].
- **Polipropileno:** es un polímero termoplástico, parcialmente cristalino, perteneciente al grupo de las poliolefinas y se obtiene mediante la polimerización del propileno. Este material es muy versátil y se puede encontrar como plástico o fibra. También, es utilizado en múltiples aplicaciones automotrices, industriales y comerciales [4].

En el proceso de modificación del asfalto con cualquier tipo de material de desecho, es necesario disponer de equipo adecuado para la preparación adecuada del material de desecho a ser utilizado como modificante. Dicha infraestructura adicionalmente permite fomentar la experimentación con nuevos materiales y propulsar nuevas tecnologías que se incorporen en el mercado de manera innovadora. Adicionalmente, son de destacar los posibles beneficios al medio ambiente y a la salud humana, ya que el uso de estos materiales reduce la contaminación y el tiempo de degradación asociado a este tipo de los desechos [6,7].

3 Preparación de los materiales de desecho

El bumper se debe triturar en un equipo especializado para reducir el tamaño de partícula. Se tamiza en las mallas N° 8 (2,36 mm) y N° 16 (1,18 mm). Las partículas retenidas en la malla N°16 tienen un tamaño de partícula adecuado para realizar las modificaciones. El polipropileno utilizado corresponde a fibras finas por lo que no requiere de preparación adicional.

Los porcentajes de polímero utilizado se presentan con base en la relación masa/masa, por peso de asfalto. Según la Tabla 1, así como considerando la trabajabilidad y apariencia del asfalto modificado, el contenido óptimo de los materiales de desecho para modificar un asfalto

PG64-22 (AC-30) de uso común en Costa Rica fue de 2% para el bumper y 1.5% para el polipropileno.

Para el bumper se evaluaron los tres porcentajes establecidos en la tabla. Visualmente se determinó que el volumen de 2% es adecuado, pues contenidos mayores dificultaron la incorporación y la trabajabilidad del material: finalizadas las 2,5 horas de modificación a una temperatura de 170°C, se observa que 3 % es un porcentaje muy alto, ya que las partículas no se disuelven completamente en el asfalto, por lo que se descarta este porcentaje. Lo contrario ocurre con los contenidos de 1,5% y 2%: estos se disuelven completamente durante la modificación. Para lograr determinar si las partículas se disuelven en el asfalto, durante el proceso de modificación se extraen pequeñas muestras para verificar visualmente que el material modificado sea completamente homogéneo. Una vez que este proceso finaliza se recurre a pruebas de reología para determinar cuál porcentaje aporta más al comportamiento mecánico del material. Con base en el comportamiento reológico se escogió el 2% de bumper como contenido óptimo.

Tabla 1. Diseño Contenido de Material de Desecho.

Material	Bumper			Polipropileno		
	1	2	3	1	2	3
Masa asfalto (g)	304,4	518	371,6	501,4	522,4	512,6
% Material desecho	1,5	2	3	0,5	1	1,5
Masa polímero (g)	4,6	10,6	11,5	2,5	5,3	7,81
Temperatura modificación (°C)	170	170	170	170	170	170
Tasa de corte (rpm)	370	440	372	405	440	410
Duración modificación (min)	90	120	150	160	120	120

Para la modificación con polipropileno se condujo el mismo procedimiento. Para los porcentajes de 0,5%, 1% y 1,5% se observó una adecuada disolución del polímero en el asfalto, es decir, una mezcla homogénea. Por lo tanto, el asfalto modificado a los tres contenidos del material modificante se evaluó mediante reología y ensayos de desempeño como fatiga. Con base en esta se última prueba se determinó que el porcentaje idóneo a utilizar es 1,5%, ya que mejora considerablemente la elasticidad del material.

4 Ensayos de Reología para Asfalto

- **Ensayo de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO)**, según AASHTO T240 y ASTM D2872: Este ensayo fue desarrollado por el Departamento de Carreteras de California, con el fin de simular el envejecimiento que ocurre en las plantas durante el proceso de elaboración de la mezcla asfáltica y posteriormente, durante su colocación. Este ensayo simula en horas, años de envejecimiento de un pavimento en servicio. Los dos principales objetivos de este ensayo son producir un asfalto oxidado que sirva para realizar otros ensayos y verificar la cantidad de volátiles que pierde el asfalto durante el ensayo [6,7].
- **Cámara de Envejecimiento a Presión (PAV)**: El Programa Estratégico de Investigación en Autopistas (SHRP) desarrolló este ensayo para evaluar el envejecimiento y comportamiento del asfalto en largos periodos de servicio, utilizando presión y temperatura para alcanzar su objetivo y reducir el tiempo de ensayo [6,7].
- **Determinación del grado de desempeño PG**: De acuerdo con la especificación de Superpave, $G^*/\text{sen}\delta$ representa el componente viscoso de la rigidez total del ligante a alta temperatura, el parámetro para asfaltos sin envejecer $G^*/\text{sen}\delta$ debe ser $\geq 1,00$ kPa y para el asfalto envejecido debe ser ≥ 2.20 kPa. Este ensayo es medido a varias temperaturas, y está

relacionado a la susceptibilidad a la deformación. Es decir, entre mayor sea su magnitud menos susceptible es el material a la deformación [6,7].

La Tabla 2 muestra los resultados de los ensayos reológicos de los asfaltos modificados con los contenidos óptimos de material de desecho.

Tabla 2. Clasificación PG Alta e Intermedia del Asfalto Original y Modificado.

Asfalto	Ensayo		Método de ensayo		Resultados (kPa)	Límite Superior
			AASHTO	ASTM		
<i>Sin Envejecer</i>						
Original	G*/senδ	64°C	T 315	P 246	1,91	64
1,5% Polipropileno	G*/senδ	70°C			1,69	70
2,0% Bumper	G*/senδ	76°C			1,42	76
<i>Envejecido RTFO</i>						
Original	G*/senδ	64 °C	T 315	P 246	5,17	64
1,5% Polipropileno	G*/senδ	70°C			3,76	70
2,0% Bumper	G*/senδ	76°C			2,38	76
<i>Temperatura Intermedia</i>						
Original	G*senδ	25 °C	T 315	P 246	4,81x10 ³	25
1,5% Polipropileno	G*senδ	28 °C			4,48x10 ³	28
2,0% Bumper	G*senδ	25 °C			4,65x10 ³	25

Como se puede observar el asfalto original cumple con la especificación únicamente para una temperatura de 64°C en el asfalto sin envejecer y envejecido en RTFO. Al ángulo de fase (δ) menor el G*/senδ incrementa (mayor aporte del componente elástico).

El asfalto modificado con 1,5 % de polipropileno fue analizado a una de temperatura de 70 °C y 76 °C. Es clasificado como un PG 70. Como se puede observar en la Tabla 2, el PG 76 no cumple con los requerimientos, por lo que es innecesario hacer una medición a una temperatura mayor, como por ejemplo 82 °C. Adicionalmente, dicha temperatura no es recomendada, pues un PG 82 es un ligante demasiado rígido. Para el asfalto modificado con 2% de bumper se realizaron mediciones a temperaturas de 64 °C, 70 °C, 76°C, las cuales cumplen con el parámetro ≥ 1,00 kPa.

Como se observa en la tabla anterior, la temperatura intermedia que cumple con la especificación Superpave, para el asfalto original corresponde a 25°C. Para el asfalto modificado con bumper la temperatura intermedia es de 25°C y para el polipropileno 28°C.

- **Reómetro de Viga a Flexión (BBR):** Determina la rigidez de un ligante asfáltico bajo carga constante a temperaturas bajas, correspondiente con las que puede experimentar un pavimento en servicio; es decir, cuando el asfalto se comporta más como un sólido elástico [8,9].

Tabla 3. Clasificación PG Baja del Asfalto Original y Modificado.

Asfalto	Temperatura ensayo	S (Mpa)	"m"	Temperatura baja
Original	-12	118,53	0,352	-22
	-18	241,44	0,296	
1,5% Polipropileno	-12	132,39	0,314	-22
	-18	261,26	0,277	
2,0% Bumper	-12	156,02	0,315	-22
	-18	223,33	0,278	

Según la Tabla 3, para las tres muestras de asfalto (original y modificados), el valor de la rigidez cumple satisfactoriamente las especificaciones requeridas en ambas temperaturas de ensayo. Sin embargo, a una temperatura de -18, el valor “m” no sobrepasa el 0,300 en ninguna muestra de asfalto, por lo cual se descarta esta temperatura. Es por eso que la temperatura inferior del grado de desempeño para el asfalto original y los asfaltos modificados es de -12, dando como resultado una temperatura baja de -22 °C. El asfalto modificado con polipropileno presenta el valor de rigidez más alto con respecto a los otros ligantes, lo que provoca que a bajas temperaturas sea más susceptible a la fisura por fatiga.

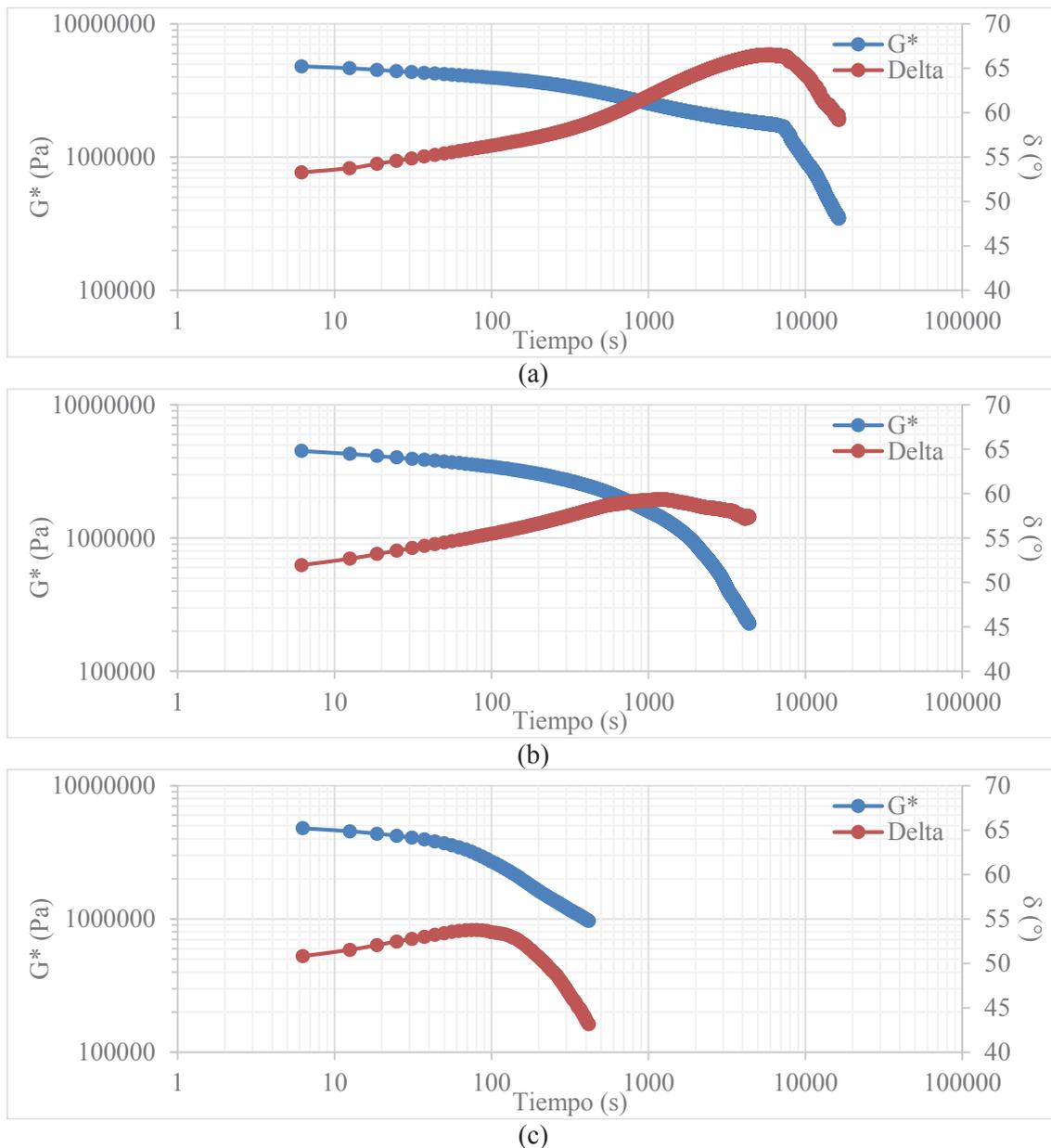


Figura 1. Resistencia a la fatiga en (a) asfalto original, (b) asfalto modificado con 1,5% polipropileno y (c) con 2,0% bumper.

4.1 Resultados de Fatiga en el Asfalto

Ensayos de fatiga también fueron desarrollados. El análisis se realizó a 25 °C usando una frecuencia angular de 10 rad/s, bajo deformación controlada (10%), según las recomendaciones

de NCHRP 459: la temperatura escogida corresponde a la base del grado PG para una temperatura intermedia con la que todos los asfaltos cumplan. Los resultados se muestran en la Figura 1.

Según las pruebas realizadas, se logra observar en las gráficas anteriores que el asfalto original tiene una mayor resistencia a la fatiga, pues lo que se espera obtener es un mayor lapso antes de que ocurra la falla. De los asfaltos modificados, el que tarda más tiempo en fallar es el asfalto modificado con bumper, aunque ambos materiales de desecho tienen un comportamiento muy similar. Es decir, la incorporación de los polímeros en al asfalto no mejora fatiga.

4.2 Resultados de Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) en el Asfalto

La Figura 2 muestra la relación entre la deformación no recuperable como función del tiempo y el esfuerzo aplicado (J_{nr}), lo que hace esperar que entre más bajo sea el valor de J_{nr} , menor va a ser la deformación permanente al aplicar una carga. Por lo tanto, el polipropileno presenta mejores resultados en comparación con el asfalto original y el asfalto modificado con bumper.

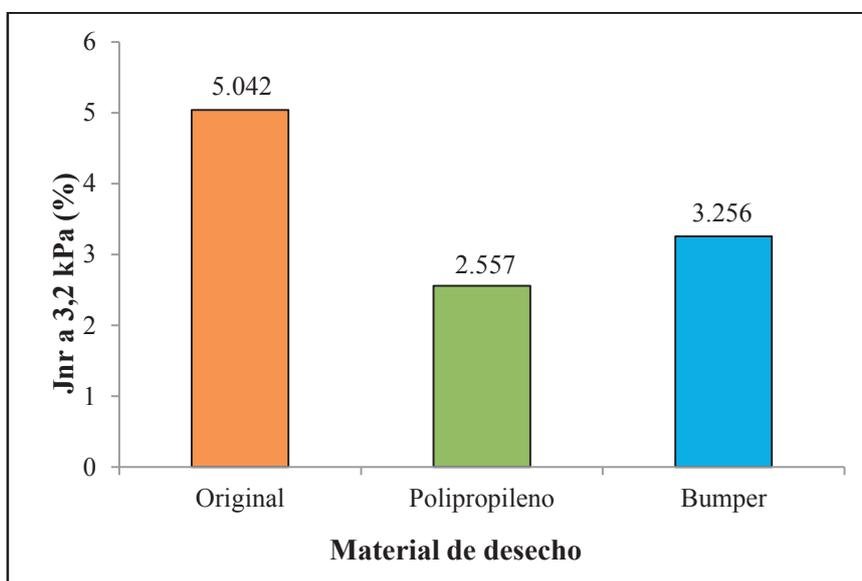


Figura 2. Compliance de ligante asfáltico @ 64 °C.

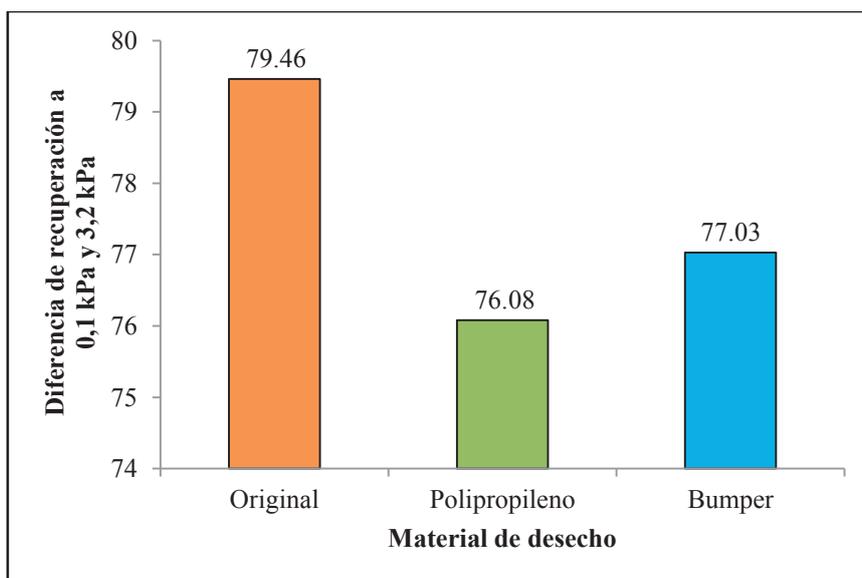


Figura 3. Recuperación de ligante asfáltico @ 64 °C.

La diferencia entre la respuesta elástica a 0,1 kPa y 3,2 kPa, es un parámetro que garantiza que la estructura del asfalto sea resistente y estable al recibir una carga. Como se demuestra en la Figura 3, el asfalto original es el que presenta una mayor elasticidad, seguido por el asfalto modificado con bumper y polipropileno, respectivamente. Sin embargo, si se realiza una comparación entre los asfaltos modificados se determina que el bumper presenta un mayor rendimiento en la recuperación elástica que el polipropileno.

5 Resultados Ensayos de Desempeño en Mezcla Asfáltica

El aporte de los polímeros como agentes modificantes se cuantifica mediante ensayos de desempeño, el cual indica el comportamiento y propiedades de las mezclas asfálticas modificadas [3,10,11].

Para evaluar el efecto del modificante en la mezcla asfáltica, se escogió una mezcla densa fina con tamaño máximo nominal de 12,5 mm de uso típico en Costa Rica. La curva granulométrica se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Curva Granulométrica del Agregado.

Tamiz (US)	Tamiz (mm)	%Pasando
3/4"	19.0	100.0
1/2"	12.5	95.4
3/8"	9.5	78.3
N° 4	4.75	43.3
N° 8	2.36	28.9
N° 16	1.18	20.0
N° 30	0.600	14.8
N° 50	0.300	10.9
N° 100	0.150	8.0
N° 200	0.075	5.8

El contenido de asfalto fue diseñado para cada mezcla. Según los resultados obtenidos de la volumetría, el porcentaje de asfalto óptimo para la mezcla con asfalto original es de un 7,49%, para el polipropileno es de un 7,41% y para el bumper es de un 7,09% (se presenta una reducción en el contenido óptimo de asfalto al incluir el material de desecho). Cabe mencionar que al utilizar estos porcentajes se cumple con todos los requisitos volumétricos establecidos por Superpave. La densidad y gravedad específica para cada uno de los asfaltos modificados, en comparación con el asfalto original, son muy similares. Los ensayos de desempeño realizados y sus respectivos resultados se detallan a continuación:

- **Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA):** determina la susceptibilidad a la deformación permanente de las mezclas asfálticas, además de distinguir cuál de ellas sufren una mayor deformación. Las muestras de mezcla asfáltica son sometidas a 8000 ciclos de carga, bajo una presión de 100 psi y una carga aplicada de 100 lb. Estas condiciones simulan la fuerza del eje y la presión de las llantas de un vehículo ejercidas en un pavimento. Este ensayo se encuentra bajo la norma AASHTO TP 63.

En la Figura 4 se puede observar el desarrollo de la deformación permanente durante todo el ensayo, indicando el promedio de la misma de 6 especímenes para cada muestra de mezcla asfáltica.

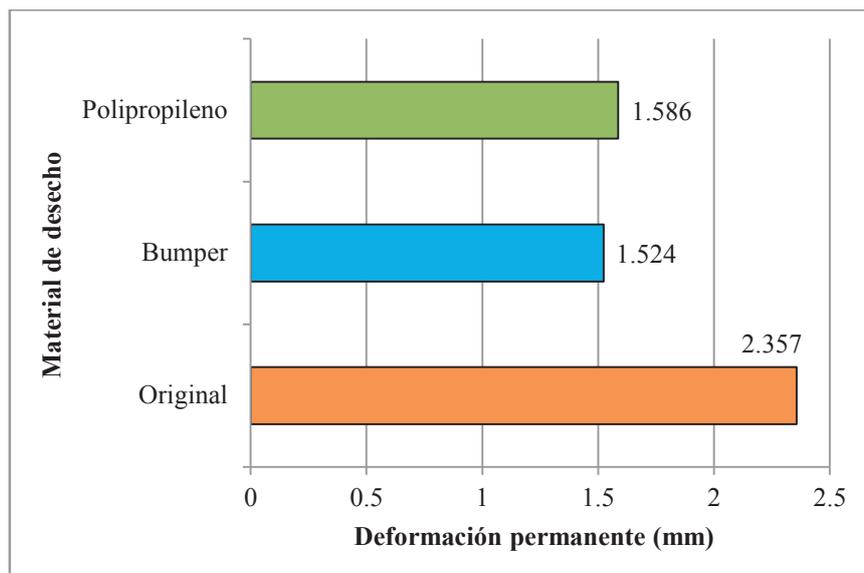


Figura 4. Resultados APA para mezcla asfáltica modificada con material de desecho.

Visualmente, se puede apreciar una notable reducción en la deformación permanente en las mezclas asfálticas modificadas con respecto a la mezcla asfáltica de control. Es decir, la incorporación de los materiales de desecho al asfalto cumple la función de rigidizar la mezcla asfáltica y de esta manera aumentar la capacidad de respuesta de los especímenes modificados ante la carga aplicada en el ensayo.

Según los requisitos establecidos para mezclas asfálticas en Costa Rica [12], las tres mezclas anteriores se designan tipo C, puesto que la deformación plástica luego de 8000 ciclos de carga a 60 °C debe ser $\leq 3,00$ mm, según lo indicado en la norma AASHTO T340. Por tanto las mezclas modificadas con materiales de desecho pueden ser consideradas para uso en capas de ruedo donde se puede presentar problemas de deformación permanente.

- **Resistencia Retenida a la Tensión Diametral:** este ensayo se determina mediante la norma AASHTO T283, la cual indica la resistencia diametral de la mezcla asfáltica compactada como resultado de los efectos de la saturación con agua. Busca determinar el daño potencial por humedad en la mezcla asfáltica ya colocada y pretende predecir el desnudamiento a largo plazo de las mezclas asfálticas. Para el ensayo se dividen los especímenes en subgrupos secos (control) y acondicionados. Estos últimos se colocarán en un baño de agua a 60 °C durante 24 horas y el daño potencial por humedad se obtiene mediante la relación de resistencias entre el subgrupo de control y el subgrupo de acondicionados. Esta resistencia se determina mediante la falla a la tensión diametral de cada subgrupo.

En la Figura 5 se detallan los resultados de la falla a la tensión diametral para especímenes secos y acondicionados de las diferentes mezclas.

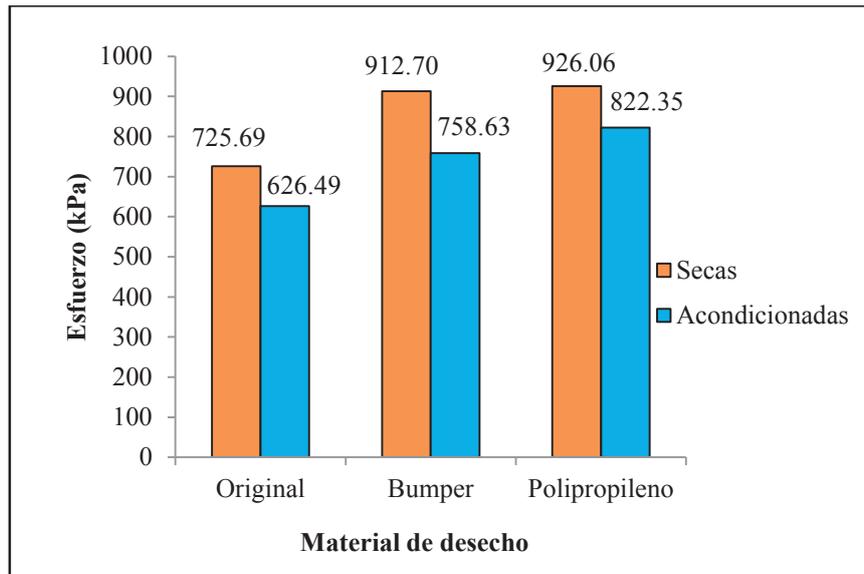


Figura 5. Falla a la tensión diametral para mezcla asfáltica modificada con material de desecho.

Como se aprecia, los especímenes secos y acondicionados en estado modificado tienden a aumentar su capacidad de respuesta ante los esfuerzos aplicados en relación a los especímenes con asfalto original, debido a la incorporación de los agentes modificantes. Como es de esperarse, las tres mezclas asfálticas acondicionadas disminuyen su capacidad de resistencia a los esfuerzos de tensión, pues el agua está induciendo un deterioro a nivel de adhesión asfalto-agregado y posiblemente a nivel de cohesión interna del mastic asfáltico.

Según el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes [12], la resistencia a la tensión diametral a 25 °C en especímenes secos debe ser mayor o igual a 700 kPa, lo cual las muestras cumplen satisfactoriamente este parámetro. Otro parámetro requerido por la especificación es el porcentaje de la resistencia retenida a la tensión diametral, el cual debe ser mayor al 85%. La resistencia retenida busca garantizar que la mezcla asfáltica no se degrade considerablemente en presencia de humedad. La Figura 6 presenta los resultados de resistencia retenida.

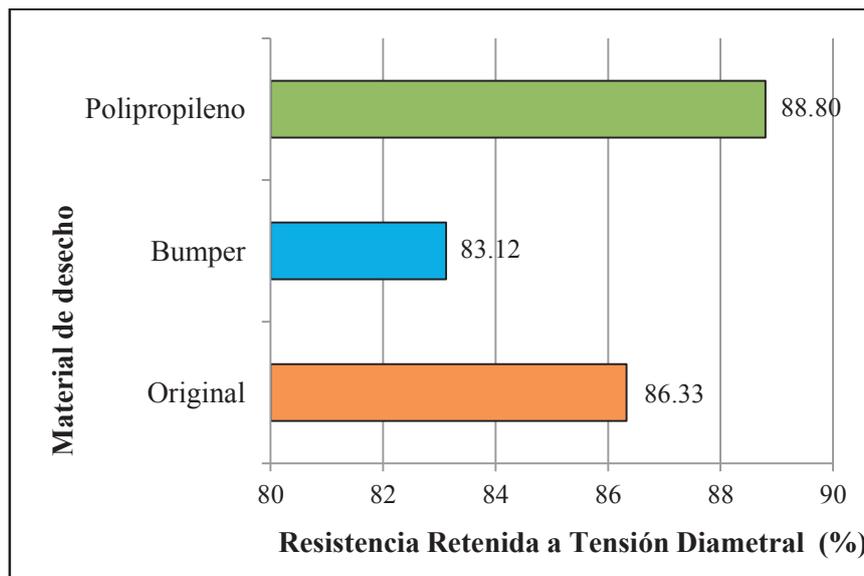


Figura 6. Resistencia retenida para mezcla asfáltica modificada con material de desecho.

La mezcla asfáltica sin modificar y la modificada con polipropileno sobrepasan la especificación de resistencia retenida. Por su parte, la mezcla asfáltica con bumper, presenta un porcentaje de 83,12 %, encontrándose por debajo de la condición mencionada. Por lo tanto, el bumper está afectando el trabajo de adhesión asfalto-agregado de manera que la humectabilidad del agregado se ve reducida. Lo contrario ocurre con el polipropileno que demuestra un aumento en la resistencia al daño por humedad.

- **Módulo Resiliente a Tensión Diametral:** este ensayo lo cubre la norma AASHTO TP 31 y determina los valores del módulo resiliente mediante la aplicación de cargas repetidas a tensión indirecta. Este parámetro es de gran utilidad a la hora de verificar la calidad y representación de la capacidad de soporte de los materiales de fundación del pavimento, con el fin de diseñar, evaluar y caracterizar el estado de las capas de pavimento. La prueba se realiza en especímenes secos y acondicionados de la misma manera que el ensayo de tensión diametral. Las mezclas fueron aclimatadas a una temperatura de 25 °C y se sometieron a una carga haversiana (10% tiempo de carga y 90% tiempo de recuperación) con una frecuencia de carga de 10 Hz. Transcurrido el proceso, las mezclas se fallan a tensión diametral. En la Figura 7 se detallan los resultados del módulo resiliente a 25 °C y 10 Hz.

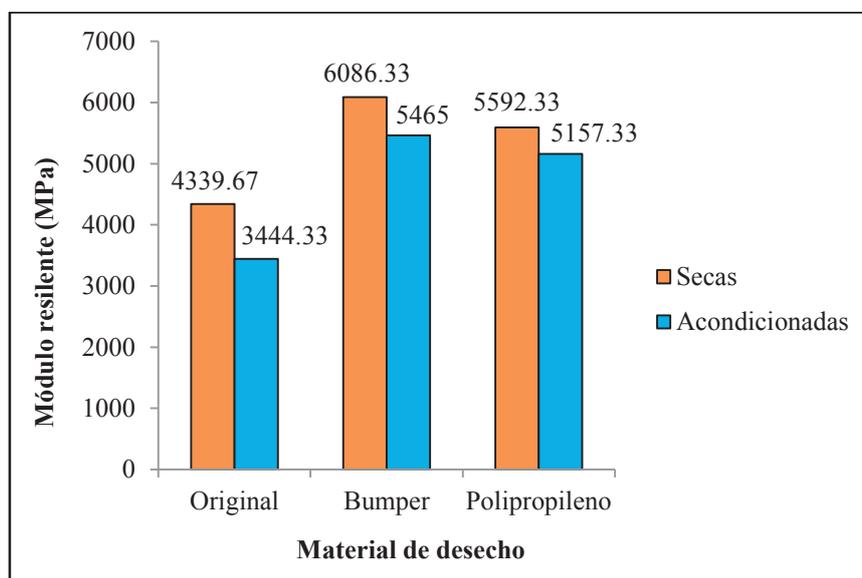


Figura 7. Módulo resiliente para mezcla asfáltica modificada con material de desecho.

Como se puede observar, se corrobora el incremento en resistencia ante esfuerzos, dado el aumento del módulo resiliente del material modificado con respecto a la mezcla asfáltica con asfalto original. Adicionalmente, se puede observar que el material de desecho también reduce la afectación del agua ante el módulo resiliente (lo vuelve menos susceptible): se pasa de un módulo retenido de 79,5% (asfalto original), a un módulo retenido de 89,8% y 92,2% para las mezclas con asfalto modificado con bumper y polipropileno, respectivamente.

6 Conclusiones

A partir de un asfalto base PG64-22 se obtuvo un grado de desempeño del asfalto con 2% bumper con una temperatura máxima de 76 °C, una temperatura mínima de -22 °C y una temperatura intermedia de 25 °C; es decir, PG 76 (25) -22. Para el 1,5% de polipropileno su clasificación es de una temperatura máxima de 70 °C, una temperatura mínima de -22 °C y una temperatura intermedia de 28 °C; por lo tanto es PG 70 (28) -22.

Con base en las mediciones de desempeño a nivel de asfalto y mezcla se sugiere que el asfalto modificado con bumper puede ser utilizado en zonas con volumen de tránsito medio

entre 10 y 20 millones de ejes equivalentes y velocidades bajas de operación. El asfalto modificado con polipropileno se puede utilizar en zonas del país donde se presenten altos niveles de precipitación y volúmenes de tránsito altos; es decir, ante la presencia de una cantidad de ejes equivalentes mayor o igual a 20 millones con velocidades lentas. Como referencia, el asfalto sin modificar, el único que se distribuye actualmente en Costa Rica, se debe limitar a zonas con tránsito moderado; es decir, en zonas con una cantidad menor a 10 millones de ejes equivalentes. Estas recomendaciones se basan en los criterios de clasificación actualizados de la metodología Superpave (incluyendo ensayo de MSCR)

Mediante los ensayos de desempeño realizados se comprueba que las mezclas asfálticas modificadas aumentan su rigidez debido a la incorporación del polímero modificante, con respecto a la mezcla asfáltica original, dando como resultado un incremento en la capacidad de resistencia de las mismas.

Se observó con en el ensayo de Resistencia Retenida a la Tensión Diametral que la mezcla modificada con bumper no cumple el requisito del porcentaje de la resistencia retenida, la cual debe ser mayor a 85 %, teniendo una leve ventaja la mezcla asfáltica con polipropileno en cuanto a desempeño. En este sentido, el uso de la mezcla asfáltica modificada con bumper debería limitarse a zonas de baja precipitación para evitar posibles daños por humedad.

Cuantitativamente se pudo determinar que las muestras modificadas se comportan totalmente diferentes en relación con la muestra original. Sin embargo, no existen diferencias entre las mezclas modificadas con bumper y polipropileno, por lo que no se puede asegurar cuál material aporta mayor beneficio a lo que requiere cada prueba. En este sentido, la escogencia de uno con respecto al otro se puede realizar con base en consideraciones económicas (costo de preparación del material de desecho).

Con base en el ensayo de Módulo Resiliente a Tensión Diametral se presentan variaciones entre todas las muestras en estudio. La mezcla asfáltica modificada con bumper presenta un aumento en su módulo resiliente; es decir, una mejor capacidad de respuesta ante las cargas y la mezcla asfáltica con polipropileno colabora con la disminución al daño por humedad.

Al analizar los polímeros se evidencia una mejora en deformación de ambos desechos con respecto al asfalto original, pero el polipropileno, al ser menos susceptible al daño por humedad, se presenta como el mejor agente modificante. Actualmente, se está evaluando una combinación de estos materiales de desecho para identificar si se puede obtener una mejora simultánea considerable en cuanto al desempeño del material.

9 Referencias

- [1] López, S, & Veloz, Y. (2013). “Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBR y SBS, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba”. Tesis para optar por el grado de Licenciatura. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
- [2] Wulf Rodríguez, Fernando. “Análisis de pavimento asfáltico con polímero”. Tesis para optar por el grado de Ingeniero Constructor. Valdivia, 2010.
- [3] Villegas, R.E., Loria, L.G., Aguiar, J.P., Leiva, F., Salazar, J., & Navas, A. “Uso de materiales de desecho como modificantes de asfalto en Costa Rica”, 2012.
- [4] Cruz, L.M., & Porras, A. “El efecto de materiales de desecho en el comportamiento de la mezcla asfáltica”. Tesis de Licenciatura. Universidad Fidélitas, San José, Costa Rica, 2015.
- [5] Aguiar-Moya, J.P., Villegas-Villegas, R.E., Loria-Salazar, L.G., Salazar-Delgado, J. “Use of WasteProducts as BitumenModifiers in Costa Rica”. EATA 2013 ConferenceProceedings. Istanbul, Turkey, 2013.
- [6] Angelone, S, Martínez, F, & Osio, H. “Antecedentes del diseño y análisis de mezclas asfálticas de Superpave”. Lexington, KY, 1996.
- [7] Vargas de Morgado, M, & Osio, H. “Antecedentes de los métodos de ensayo de ligantes asfálticos de Superpave”. Lexington, KY, 1998.
- [8] AsphaltInstitute. “Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente”. Lexington, KY, 2010.
- [9] Asphalt Institute. “The Asphalt Handbook, Seventh Edition”. Lexington, KY, 2007.

- [10] Vázquez Ruiz, Idalit. “Ventajas y desventajas del uso de polímeros en los asfaltos”. Tesis para optar por el grado de Licenciatura. Veracruz, 2010.
- [11] Avellán Cruz, Martha. “Asfaltos modificados con polímeros”. Tesis para optar por el grado de Ingeniera Civil. Guatemala, 2007.
- [12] MOPT. “Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes, División 400: Pavimentos Asfálticos y Tratamientos Superficiales.” Designación MOPT: CR-2010. San José, Costa Rica, 2010.