

Efecto de la variación del tipo de cemento asfáltico en la susceptibilidad a la humedad y deformación permanente en mezclas Stone Mastic Asphalt

Kevin Choqueribe H.¹, Jahel S. Ledezma P.²

²Laboratorio de Pavimentos y Asfaltos, Departamento de Civil, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia

¹kevinchoqueribe@gmail.com, ²sarvialedezma@fcyt.umss.edu.bo

Resumen

Las mezclas asfálticas de granulometría continua son comúnmente empleadas como capas de rodadura en Bolivia. No obstante, el uso de granulometrías discontinuas en mezclas asfálticas, conocidas como *Stone Mastic Asphalt* (SMA), presentan beneficios en su aplicación ya que su estructura granular proporciona una mayor resistencia a la deformación permanente. Así también, el empleo de cementos asfálticos modificados incrementa la resistencia de los parámetros de desempeño de la mezcla SMA en función al modificante añadido.

Es así que, la presente investigación con el fin de evaluar el efecto de la variación del cemento asfáltico en mezclas asfálticas SMA, evaluó el desempeño a la humedad por el método Lottman y deformación permanente mediante la rueda de Hamburgo de mezclas asfálticas tipo SMA elaboradas con cemento asfáltico convencional y modificado, respectivamente. Para esto, se realizó el diseño de las mezclas empleando agregados triturados de la cantera de Parotani, cemento asfáltico con clasificación por penetración 60/70, cemento asfáltico modificado con elastómeros SBS y fibras de celulosa. La dosificación de las mezclas asfálticas SMA fueron desarrolladas conforme la práctica estándar de la AASHTO con designación R46.

Tras evaluar los resultados obtenidos se observa que la mezcla SMA con cemento asfáltico SBS presenta aumentos del 15,67% a la resistencia a la humedad y 38,89% a la resistencia a la deformación permanente en comparación a la mezcla SMA con asfalto 60/70. Sin embargo, se evidencia que la mezcla SMA con cemento asfáltico SBS presenta menor resistencia a la tensión indirecta que la mezcla SMA con asfalto 60/70.

Palabras clave: *Mezclas SMA, Granulometría discontinua, Resistencia a la humedad, Deformación permanente.*

1. Introducción

El creciente aumento de los niveles de tráfico vehicular en Bolivia acelera la aparición de deterioros en pavimentos flexibles, por lo que es indispensable el estudio de otras alternativas de diseño que mejoren el desempeño de mezclas asfálticas.

En este sentido, la mezcla asfáltica tipo SMA (*Stone Mastic Asphalt*) fue desarrollada en 1960 en Alemania, con el fin de reducir el desgaste producido por el flujo de vehículos con clavos durante el invierno europeo. Tras presentar buen desempeño en las carreteras aplicadas, incluso después de la temporada de invierno, se realizaron estudios que optimizaron su dosificación. De esta forma, en 1984 se implementó una normativa para su aplicación la cual fue interés de varios países europeos. Posteriormente, a inicios de 1990, Estados Unidos se interesó en el estudio de la mezcla SMA realizando tramos de prueba durante los próximos 8 a 10 años, concluyendo en la elaboración de guías y especificaciones para este tipo de mezclas asfálticas (Blazejowski, 2011).

La mezcla SMA está compuesta de agregados minerales, cemento asfáltico y fibras estabilizadoras

para evitar el escurrimiento durante la producción. Es considerada una mezcla de alto desempeño ya que proporciona una buena resistencia a la deformación permanente. Debido a su estructura granular, presenta una buena macrotextura y alta resistencia al desgaste, a causa del alto contenido de cemento asfáltico y filler. Para su diseño, las mezclas SMA requieren un proceso previo de selección granulométrica y posterior determinación del contenido de cemento asfáltico. Dentro de la evaluación de los parámetros volumétricos, este tipo de mezcla incorpora la revisión de los vacíos en el agregado grueso (VCA), con el fin de revisar el empaquetamiento de agregados gruesos durante la compactación (NAPA, 2002).

De esta forma, con el interés de evaluar el efecto de la variación del tipo de cemento asfáltico en el desempeño a la humedad y deformación permanente en mezclas SMA, la presente investigación realiza el diseño de dos mezclas tipo SMA, una con cemento asfáltico (CA) 60/70 y la otra modificada con SBS (*Styrene Butadiene Styrene*) conforme la especificación técnica M325 y la guía práctica R46 de la AASHTO.

2. Materiales y métodos

Caracterización de los agregados minerales

El agregado triturado empleado para el desarrollo de la investigación es procedente de la cantera de Parotani-Cochabamba, con un tamaño máximo nominal de 12.5 mm. Para cumplir con los requerimientos

mínimos que exige una mezcla asfáltica SMA se adoptó las especificaciones técnicas proporcionadas por la AASHTO M325 “*Standard Specification for Stone Matrix Asphalt*” (AASHTO, 2008a). La Tabla 1 presenta las propiedades físicas que desarrollaron los agregados minerales gruesos y finos.

Tabla 1

Caracterización de los agregados minerales

Ensayos	Unidad	Norma	Requerimiento AASHTO M325	Resultados
Abrasión de los agregados	%	AASHTO T96	Máx. 30	19.1
Partículas chatas y alargadas 3 a 1	%	ASTM D4791	Máx. 20	9.0
Peso específico de los agregados gruesos	-	AASHTO T85	-	2.591
Peso específico de los agregados finos	-	AASHTO T84	-	2.465
Peso específico del polvo mineral	-	IRAM 1542	-	2.809
Caras fracturadas	%	ASTM D5821	Min. 90	80.0
Equivalente de arena	%	AASHTO T176	Min. 45	86.2
Resistencia a los sulfatos	%	AASHTO T104	Máx. 15	10.6

Fuente: Elaboración propia

Caracterización del cemento asfáltico

Los cementos asfálticos empleados corresponden a clasificación por penetración 60/70 y otro modificado con SBS (*Styrene Butadiene Styrene*). Se adoptó las especificaciones técnicas proporcionadas por la

AASHTO M20 para verificar la calidad del cemento asfáltico (AASHTO, 2004a). De esta forma, la Tabla 2 presenta la caracterización de los cementos asfálticos empleados.

Tabla 2

Caracterización del cemento asfáltico

Ensayos	Unidad	Norma	Requerimiento AASHTO M20	Cemento asfáltico 60/70	Cemento asfáltico SBS
Penetración a 25°C	1/10 mm	AASHTO T49	60-70	60.7	64.4
Peso específico del asfalto a 25°C	-	AASHTO T228	-	1.052	1.007
Ductilidad a 25°C	cm	AASHTO T51	Min 100	107	35
Viscosidad rotacional a 135°C	cP	AASHTO T316	-	427.5	645
Viscosidad rotacional a 155°C	cP	AASHTO T316	-	208	306
Viscosidad rotacional a 177°C	cP	AASHTO T316	-	79	109
Recuperación elástica a 25°C	%	AASHTO T301	-	5.90	90.70
Punto de ablandamiento	°C	AASHTO T53	-	45.8	57.1
Punto de inflamación	°C	AASHTO T48	232	312.6	286.6
Adhesividad de agregados gruesos-ligante asfáltico	%	DNER-ME 078	Min 95	97.87 (con 0.6% de mejorador de adherencia amínico)	97.22 (con 0.4% de mejorador de adherencia amínico)

Fuente: Elaboración propia

Diseño de mezcla asfáltica tipo SMA

Las mezclas asfálticas SMA se dosificaron conforme la designación R46 de la AASHTO “*Standard Practice for Designing Stone Matrix Asphalt SMA*” variando solo el tipo de cemento asfáltico (AASHTO, 2008b). Del mismo modo, la faja granulométrica adoptada para

el diseño de la mezcla SMA, atiende a la designación M325 de la AASHTO, para agregados con tamaño máximo nominal de 12.5 mm o tamaño máximo de 19 mm. La Tabla 3 presenta las granulometrías evaluadas durante el diseño de las mezclas SMA.

Tabla 3

Granulometrías adoptadas para el diseño SMA

Abertura (mm)	Abertura (pulgadas)	Faja TMN 12.5mm		Granulometrías evaluadas		
		Superior	Inferior	GS	GM	GI
25.000	1	100	100	100	100	100
19.000	3/4	100	100	100	100	100
12.500	1/2	100	90	98	95	93
9.500	3/8	78	26	70	55	40
4.750	N4	28	20	26	24	22
2.360	N8	24	16	22	20	18
1.180	N16	21	13	19	17	15
0.700	N30	18	12	17	15	14
0.300	N50	15	12	14	13	13
0.150	N100	12.5	10	12	11	10.5
0.075	N200	10	8	10	9	8
Filler	Filler	0	0	0	0	0
Gravedad específica Bulk del agregado grueso en la combinación granulométrica				2.586	2.595	2.604
Gravedad específica Bulk de la combinación de agregados				2.596	2.603	2.611

Fuente: Elaboración propia

Se evaluarán 3 granulometrías distintas dentro la faja granulométrica adoptada, para luego seleccionar la que presente mejores propiedades volumétricas. Posteriormente, se determinó el contenido de cemento asfáltico óptimo para esa granulometría variando el

contenido de ligante inicial en $\pm 0.5\%$ examinando las propiedades volumétricas de cada cuerpo de prueba elaborado (AASHTO, 2008b). La Figura 1 presenta los límites adoptados por las fajas y las curvas granulométricas evaluadas.

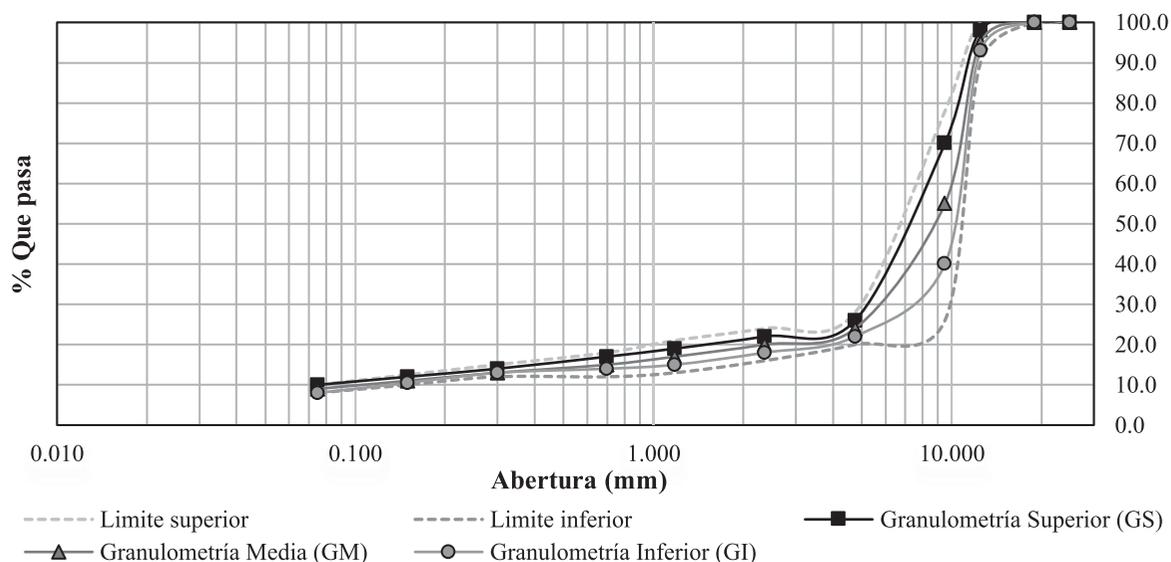


Figura 1. Curvas granulométricas evaluadas para el diseño SMA

Se elaboraron 4 cuerpos de prueba para ponderar la variación tanto de la combinación granulométrica como el contenido de cemento asfáltico. La preparación de cuerpos de prueba se realizó conforme la norma ASTM D6926 "Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall Apparatus" aplicando 100 giros por el compactador giratorio Superpave recomendado por la guía de diseño para mejorar el empaquetamiento de la mezcla (NAPA, 2002).

Las propiedades volumétricas evaluadas fueron: vacíos en el agregado grueso (VCA), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos de aire en la mezcla (Va) y vacíos llenos de asfalto (VFA). Se adicionaron fibras de celulosa en forma de pellets en 0.3% del peso de la mezcla para evitar el escurrimiento de la mezcla durante el diseño y evaluación de desempeño (AASHTO, 2008b).

Evaluación de la susceptibilidad a la humedad

La evaluación de la susceptibilidad a la humedad en las mezclas asfálticas diseñadas se realizó mediante el método AASHTO T283, se evaluaron 6 cuerpos de prueba compactados en el compactador giratorio Superpave hasta obtener $6 \pm 1\%$ de vacíos de aire.

El procedimiento del ensayo consistió en elaborar 6 cuerpos de prueba de 100 mm de diámetro y dividirlos en dos grupos de evaluación: el grupo seco y el acondicionado en agua. El grupo acondicionado pasa por un ciclo de saturación en agua y vacío a 40 kPa de presión absoluta por aproximadamente 5 a 10 minutos

para posteriormente atravesar un ciclo de saturación en baño de agua a $60 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 hrs antes de la rotura. Ambos grupos pasan por un ciclo de acondicionamiento en baño de agua a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ por 2 hrs antes de realizar la rotura mediante la prensa Marshall usando el cabezal Lottman, aplicando una deformación constante de 50 mm/min hasta que el cuerpo de prueba evaluado registre la carga máxima aplicada antes de romperse (AASHTO, 2007).

Evaluación de la susceptibilidad a la deformación permanente

La evaluación de desempeño de la mezcla mediante deformación permanente o ahuellamiento se realizó empleando la rueda de Hamburgo, conforme la AASHTO T324. Para esto, se elaboraron 4 cuerpos de prueba de 150 mm de diámetro en el compactador giratorio hasta obtener $7 \pm 2\%$ de vacíos de aire en la mezcla.

El procedimiento del ensayo consistió en aplicar una carga de $705 \pm 4.5\text{ N}$ a una velocidad de 50 ± 5 pasadas por minuto hasta que se desarrollen 20000 pasadas o hasta que la muestra desarrolle 20 mm de deformación (AASHTO, 2004b).

3. Resultados

Diseño de la mezcla asfáltica tipo SMA

Las especificaciones técnicas para la mezcla tipo SMA se adoptaron conforme la AASHTO con designación M325. Los resultados obtenidos de los parámetros volumétricos para ambas mezclas SMA se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4

Resultados obtenidos del diseño de las mezclas asfálticas tipo SMA

Parámetros volumétricos	Unidad	Requerimiento AASHTO M325	Cemento asfáltico	
			60/70	SBS
Contenido de cemento asfáltico	%	Min. 6	5.8	6.3
Vacíos en el agregado grueso "VCA _{gr} "	%	>VCA _m	41.1	41.1
Vacíos en el agregado grueso de la mezcla asfáltica "VCA _m "	%	<VCA _{gr}	35.5	35.5
Vacíos de aire en la mezcla compactada "Va"	%	3 - 5	4.0	4.0
Vacíos en agregado mineral "VMA"	%	Min. 17	17.4	17.3
Estabilidad	N	Min. 6200	6963.2	7839.9
Flujo	0.25mm	8 - 16	13.0	15.7
Densidad	g/cm ³	-	2.284	2.297
Relación Marshall	KN/mm	3 - 6	2.1	2.0

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de la susceptibilidad a la humedad

Los resultados obtenidos de la evaluación a la tracción indirecta de cada cuerpo de prueba evaluado por el método Lottman son presentados en la Tabla 5.

Tabla 5

Resultados obtenidos del ensayo de susceptibilidad a la humedad

Tipo de mezcla asfáltica	Cemento asfáltico	Grupo de evaluación	Porcentaje de vacíos en la mezcla (Va)	Resistencia a la tensión Indirecta (KPa)	Resistencia a la humedad (%)
SMA	60/70	Acondicionado	6.7	384.2	85.5
		Seco	6.9	449.1	
	SBS	Acondicionado	6.9	343.6	98.9
		Seco	7.0	347.4	

Fuente: Elaboración propia

La Figura 2 presenta la resistencia a la tensión diametral de los grupos evaluados en el ensayo de susceptibilidad a la humedad.

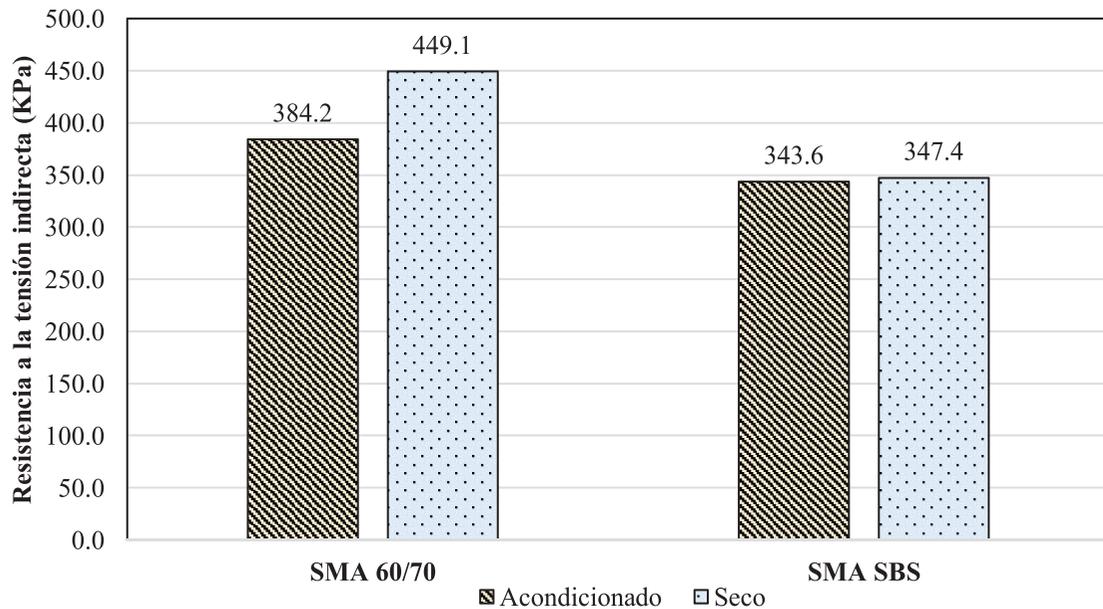


Figura 2. Resistencia a la tensión diametral de las mezclas asfálticas evaluadas

Se puede observar en la Figura 2 que la mezcla SMA con CA SBS desarrolla menor resistencia a la tensión indirecta en comparación a la mezcla SMA con CA 60/70, tanto en las muestras condicionadas y secas.

La resistencia a la susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas evaluadas en el trabajo de investigación es presentada en la Figura 3.

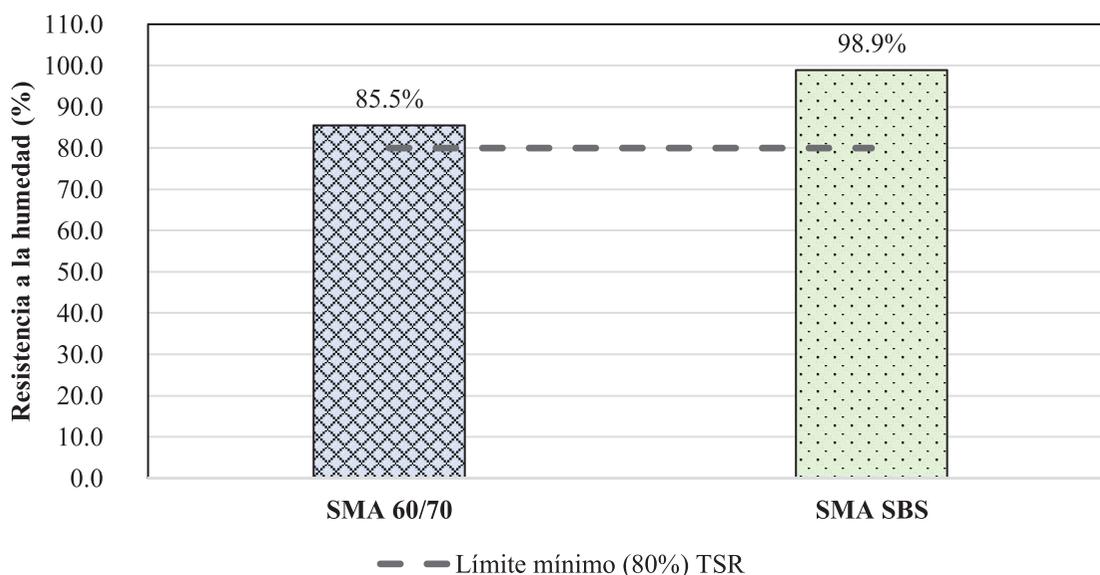


Figura 3. Resistencia a la humedad en las mezclas asfálticas evaluadas

En la Figura 3 se observa que la mezcla SMA con CA SBS desarrolla mayor resistencia a la humedad en relación a la mezcla SMA con CA 60/70.

Evaluación de la susceptibilidad a la deformación permanente

Los resultados obtenidos de las mezclas asfálticas evaluadas para el ensayo de la rueda de Hamburgo se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6

Resultados obtenidos del ensayo de la rueda de Hamburgo

Tipo de mezcla asfáltica	Cemento asfáltico	Rueda	Número de pasadas al punto de stripping	Tipo de falla	Ahuellamiento desarrollado	Media de ahuellamiento
SMA	60/70	1	12937	Número de pasadas	18.08	17.88
		2	16788		17.67	
	SBS	1	17353	Número de pasadas	12.01	12.87
		2	18775		13.73	

Fuente: Elaboración propia

Con base a los resultados registrados es posible observar la mejora de la resistencia a la deformación permanente entre mezclas SMA que emplea CA modificado SBS en relación a un CA 60/70. Del mismo modo, ambas mezclas tipo SMA desarrollan mayor resistencia en relación a la mezcla convencional, demostrando la mejora en el desempeño a deformación permanente de este tipo de mezcla.

De esta forma, las Figuras 4 y 5 presentan la curva deformación vs número de pasadas de la mezcla asfáltica tipo SMA que emplea cemento asfáltico 60/70, evidenciando que la misma desarrolla su punto de desprendimiento posterior a las 10000 pasadas.

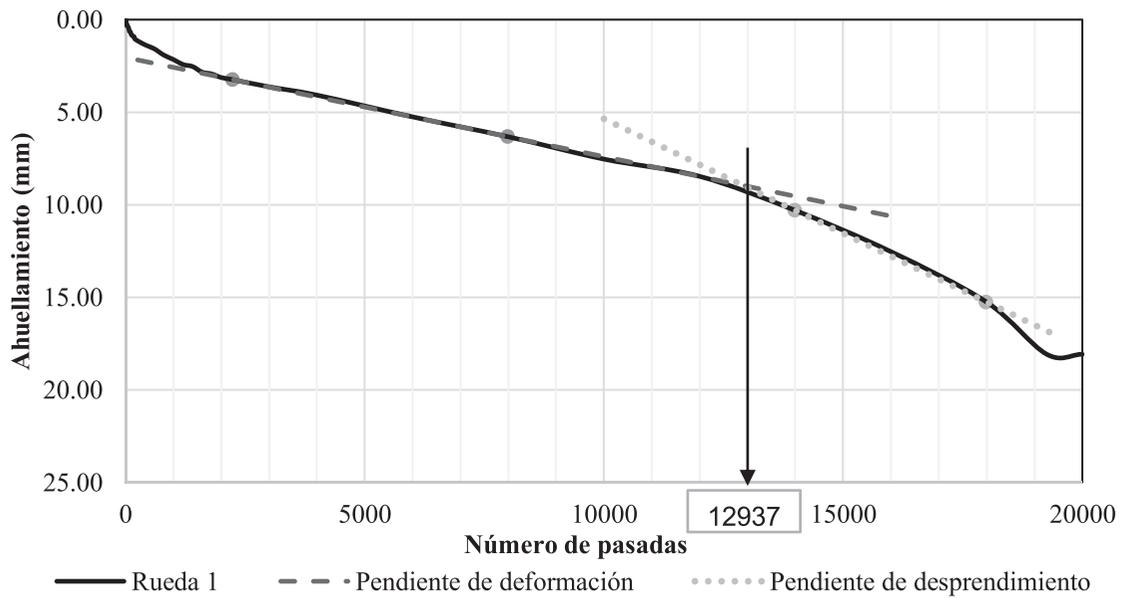


Figura 4. Resultado del ensayo de deformación permanente para la mezcla SMA 60/70 (Rueda 1)

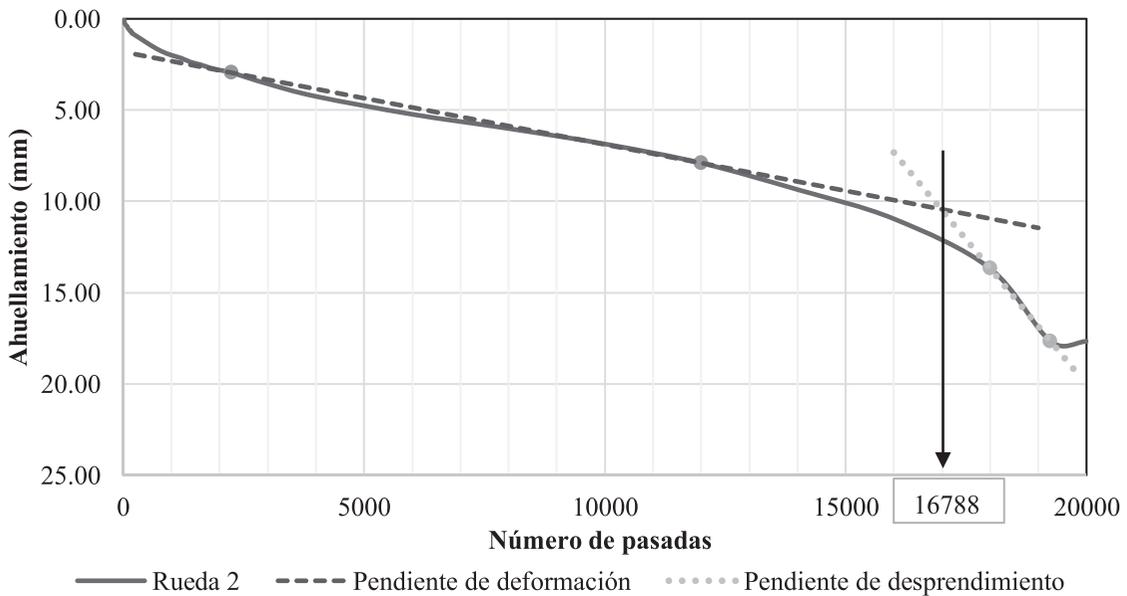


Figura 5. Resultado del ensayo de deformación permanente para la mezcla SMA 60/70 (Rueda 2)

Las Figuras 6 y 7 presentan la curva de deformación vs número de pasadas de la mezcla asfáltica tipo SMA que emplea cemento asfáltico modificado SBS, observando

un desplazamiento del punto de desprendimiento alcanzando casi las 20000 pasadas en comparación con la mezcla SMA 60/70.

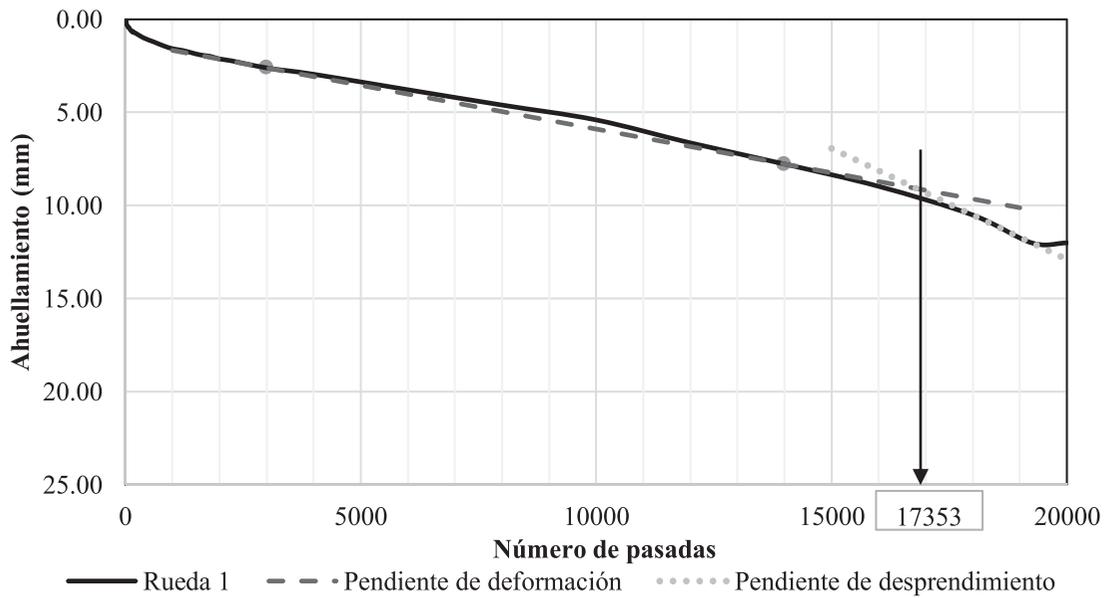


Figura 6. Resultado del ensayo de deformación permanente para la mezcla SMA SBS (Rueda 1).

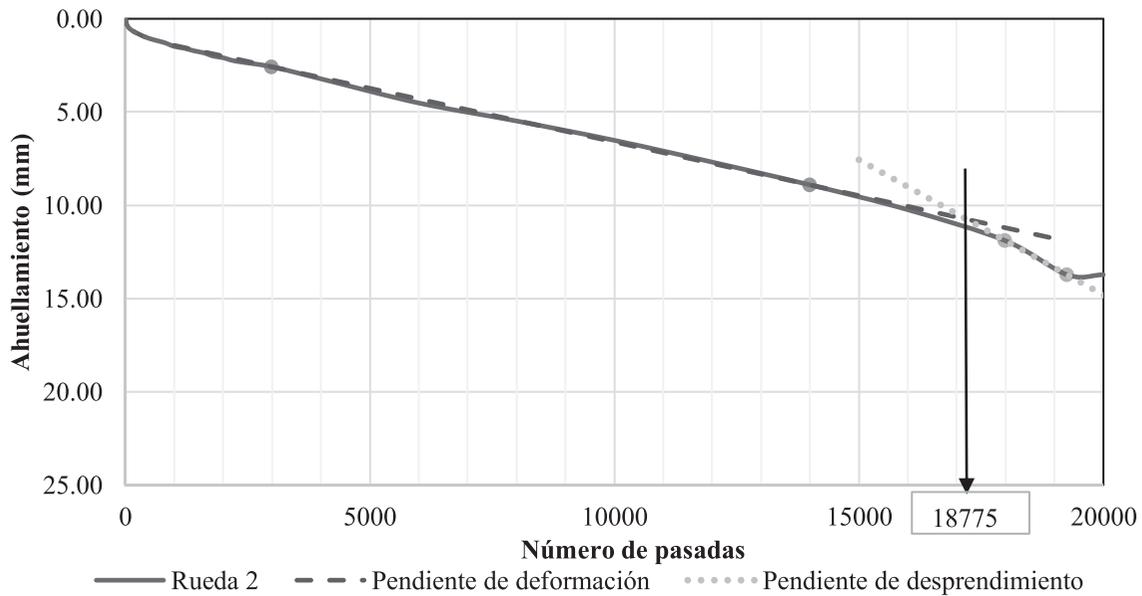


Figura 7. Resultado del ensayo de deformación permanente para la mezcla SMA SBS (Rueda 2).

4. Conclusiones

Tras analizar los resultados de los ensayos realizados a las mezclas SMA, se observó que la mezcla elaborada con cemento asfáltico modificado SBS presenta mayor estabilidad Marshall comparado con la mezcla asfáltica 60/70.

Evaluando la resistencia a la tensión diametral, se aprecia que la mezcla SMA con cemento asfáltico SBS presenta menor resistencia a la tensión indirecta en comparación a la mezcla asfáltica 60/70, tanto en condición seca y húmeda. Sin embargo, esta última presenta menor resistencia a la humedad en 15.67% en relación a la primera.

Respecto al ensayo de deformación permanente, se evidenció que la mezcla SMA con cemento asfáltico modificado SBS desarrolla 39.89% menor ahuellamiento que la mezcla con cemento asfáltico 60/70, aspecto que se complementa con el retardo en la aparición del punto de *stripping* que indica una mayor resistencia a la humedad y relaciona esta respuesta con los resultados obtenidos en el ensayo de susceptibilidad a la humedad.

5. Referencias Bibliográficas

- AASHTO. (2004a). AASHTO M 20: *Standard Specification for Penetration Graded Asphalt Cement*. In. USA. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2004b). AASHTO T 324: *Standard Method of Test for Hamburg Wheel Tracking Testing of Compacted Hot Mix Asphalt*. In. USA. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2007). AASHTO T 283: *Standard Method of Test for Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture Induced Damage*. In. USA. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2008a). AASHTO M 325: *Standard Specification for Stone Matrix Asphalt (SMA)*. In. USA. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2008b). AASHTO R46: *Standard Practice for Designing Stone Mastic Asphalt (SMA)*. In. USA. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Blazejowski, K. (2011). *Stone Matrix Asphalt Theory and Practice*. In. *United States of America*. CRC Press.
- NAPA. (2002). *Diseño y Fabricación Mezclas SMA Técnicas y Prácticas (Traducido por la AMAAC)*. In (Primera edición ed.). Estados Unidos: National Asphalt Pavement Association.