



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



Quiébranos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia

Patrimonio del Estado Zulia e
interés Cultural desde 2001

Fecha de Construcción:
1954-1958

Diseño: Arquitecto Carlos Raúl
Villanueva, con elementos
novedosos de adaptación
climática.

Policromía de la obra: Artista
Zuliano Víctor Valera.

Evaluation of the mechanical properties of a hot asphalt mix modified by dry process with plastic polypropylene lids

S. Chávez-Romero¹, Sh. Aulestia-Viscarra¹, W. Cando¹, J. Bucheli¹, L. Fernández^{2,3}*

¹Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Avenida 12 de octubre y Roca, Apartado 17-01-2184, Quito-Ecuador

²Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Químicas, Avenida 12 de octubre y Roca, Apartado 17-01-2184, Quito-Ecuador

³Universidad Simón Bolívar, Departamento de Química, Apartado 89000, Caracas-Venezuela.

*Autor de Contacto: lfernandez@usb.ve

<https://doi.org/10.22209/rt.v42n3a04>

Recepción: 24/09/2018 | Aceptación: 24/05/2019 | Publicación: 01/09/2019

Abstract

We report the evaluation of a hot asphalt mixture, conventionally used in the streets of Ecuador, modified with plastic polypropylene lids in order to improve their mechanical characteristics. The mixture have been modified using crushed waste from plastic bottle caps in an aggregate size equivalent to that retained in sieve number 8, which according to the ASTM standard is 2.36 millimeters. Marshall stability and flow tests were carried out on specimens fabricated with different percentages of polypropylene waste. It has been shown that the addition of polypropylene taps results in the improved Marshall properties. The results indicate that a modified asphalt mix has useful characteristics for a good performance as asphalt mixtures for paving.

Keywords: Modified asphalt; Polypropylene; Polypropylene plastic lids.

Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente modificada por vía seca con tapas plásticas de polipropileno

Resumen

Se reporta la evaluación de una mezcla asfáltica en caliente, convencionalmente usada en las calles de Ecuador, modificada con tapas plásticas de polipropileno a fin de mejorar sus características mecánicas y volumétricas. La mezcla se modificó empleando residuos triturados de tapas plásticas de botellas en tamaño de agregado equivalente al retenido en el tamiz número 8, que de acuerdo a la normativa ASTM es de 2,36 milímetros. Se llevaron a cabo ensayos de estabilidad y flujo Marshall sobre muestras fabricadas con diferentes porcentajes de residuos de polipropileno con un contenido óptimo de betún. Se obtuvo que la adición de tapas de polipropileno mejora de las propiedades para el diseño Marshall de la mezcla. Los resultados indican que se logró una mezcla asfáltica modificada con características útiles para un buen desempeño como mezclas asfálticas para pavimentación.

Palabras clave: Asfalto modificado; Polipropileno; Tapas plásticas de polipropileno.

Introducción

Los aglomerantes bituminosos son ampliamente utilizados por la industria de pavimentos [1]. Aproximadamente el 95 % de los casi 100 Mton de betún producido por año en todo el mundo, es utilizado por la industria de la pavimentación [2]. Debido a las propiedades visco-elásticas del asfalto, su rendimiento está influenciado por la temperatura ambiental, y en las últimas décadas el incremento en el número de vehículos en las carreteras ha traído como consecuencia que la vida útil de las mezclas asfálticas se reduzca. Para conformar una mejor mezcla con vida útil más larga, la modificación de la mezcla asfáltica mediante el uso de aditivos como polímeros es una práctica común en la ingeniería de pavimentos alrededor del mundo [3]. Particularmente, se ha intentado modificar porciones específicas de agregado por residuos de sólidos reciclados [4,5], plásticos [6], llantas [7-11], etc., direccionando así materiales reciclados hacia un fin específico que impacte positivamente dentro de la sociedad. Ecuador genera 4,1 millones de toneladas de residuos sólidos y del millón reutilizable solo se recicla el 24%. En la presente investigación, se evalúa el desempeño de una mezcla asfáltica en caliente, comúnmente utilizada en las calles de Ecuador, modificada a través de la incorporación de residuos triturados de tapas plásticas de polipropileno como reemplazo de material pétreo, con el propósito de buscar mejoras en las propiedades mecánicas y las características volumétricas (Va, VAM y VAF) de la mezcla. Como referencia las fibras de polipropileno se han utilizado como modificador en el hormigón asfáltico en Estados Unidos. El Departamento de Transporte del Estado de Ohio, ha publicado un estándar para el uso de fibras de polipropileno en concreto asfáltico de alto rendimiento [12]. El polipropileno es un termoplástico obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Es un polímero versátil, compatible con muchos de los procesamientos industriales existentes, resistente altas temperaturas y es el más ligero de los plásticos importantes [13]. Su relativa cristalinidad le proporciona una elevada resistencia a la tracción, rigidez y dureza, y su elevado punto de fusión permite que las piezas derivadas de éste puedan ser esterilizadas conservando una alta resistencia a la tracción.

Parte Experimental

Reactivos y equipos

Reactivos: TQ Orange clean 90 (Spartan), desmoldate (Talco + glicerina (Sigma-Aldrich), sulfato de magnesio (Sigma-Aldrich), ácido hidroclicórico 37% (Sigma-Aldrich), óxido rojizo (Sigma-Aldrich) y propanol 99% (Sigma-Aldrich). *Equipos:* controlador RTE, modelo CS 325-B, James Cox & Sons INC, regulador de vacío digital modelo H-1, equipo Marshall H-1322, Humboldt MFG. CO. Schiller Park IL 60176, modelo No. H-1782, horno

Despatch Industries, máquina de prueba de cribamiento de ajuste manual Gilson, modelo TS-2, Gilson Company INC., tamiz vibrador de cribado, modelo 14860, W. S. Tyler, Viscosímetro DV-II + Pro, tanque de prueba de ductilidad, Soiltest INC, máquina universal HYD 25, Cooper Technology, compactador Marshall, modelo H-1336, Humboldt MFG. CO, estufa Universal 32 lt, modelo UNB-200, Memmert, máquina de abrasión los Ángeles, modelo 42-5305, Soiltest INC.

Propiedades de los materiales

Se determinaron los porcentajes óptimos de material para realizar una mezcla asfáltica en caliente optimizando la granulometría de los agregados pétreos y cantidad óptima de asfalto (AC-20, comúnmente utilizado para conformar mezclas asfálticas en Ecuador) para la conformación de briquetas de mezcla asfáltica. Todos los agregados pétreos utilizados provienen de la planta de Holcim, ubicada en la parroquia de Pifo, al nororiente del Distrito Metropolitano de Quito en la provincia de Pichincha-Ecuador. Se utilizaron dos tipos de agregado grueso, uno de tamaño máximo nominal de 12,5 mm (1/2"), y otro de 9,5 mm (3/8"). Quince briquetas fueron separadas en cinco grupos, cada uno con un porcentaje distinto de asfalto (5%, 5,5%, 6%, 6,5% y 7%). Se conformaron tres briquetas por cada porcentaje de asfalto. La masa promedio de la mezcla de agregados fue 1100 gramos. Las muestras conformadas representan condiciones de tráfico pesado según la norma ASTM D1559-76. Para la conformación de la briketa, se dejó el agregado 24 horas antes en un horno a temperatura de 152°C a 157°C. El asfalto se calentó hasta lograr una textura fluida a 145°C. La temperatura de compactación fue de 141°C a 146°C. El mezclado asfalto-agregado entre 152 °C y 157 °C, se realizó sobre una hornilla de inducción hasta que el asfalto cubrió la superficie de todo el agregado. Para la compactación, se aplicaron 75 golpes con un martillo compactador caliente a cada cara de la briketa, completando 150 golpes sobre la muestra; esto según el requerimiento del ASPHALT Institute 2014 para tráfico pesado. Una vez que la muestra se ha enfriado, las briquetas desmoldadas se enfriaron al aire hasta alcanzar la temperatura ambiente, se pesaron en seco y luego se sumergieron en agua para ser pesadas en superficie saturada seca. Finalmente, las briquetas se sumergen en agua a 60°C por un tiempo de 30 a 40 minutos, y luego se sometieron a compresión en la máquina de ensayo Marshall. Las propiedades físicas de las muestras de betún se muestran en la Tabla 1. La caracterización del asfalto se realizó en base a los requisitos presentados en la NTE, [18]. De acuerdo a estos resultados se puede considerar que el asfalto utilizado en este trabajo cumple con las características adecuada para etiquetarlo como un Asfalto AC-20. Las propiedades físicas de los agregados gruesos y finos se presentan en la Tabla 2. De acuerdo a las caracterizaciones realizadas por medio de los ensayos, se determinó que la composición del material pétreo cumple la Normativa Técnica Ecuatoriana, NTE.

Tabla 1. Resultados de la caracterización del Asfalto

ENSAYO	UNIDAD	Valor Referencial AC 20		Valor Obtenido	Evaluación
		Mínimo	Máximo		
Viscosidad absoluta 60°C	Pa s	200		204,44	Cumple
Viscosidad cinemática 135°C	mm ² s ⁻¹	300	...	379,81	Cumple
Punto de inflamación	°C	232	...	322,00	Cumple
Gravedad específica	Kg/m ³	99	...	1008,83	Cumple
Índice de penetración		De -1,5 a +1		-1,40	Cumple
Viscosidad 60°C	Pas	...	800	792,02	Cumple
Cambio de masa	% w/w	...	1	0,029	Cumple
Ductilidad 25°C	cm	50	...	51,00	Cumple

Tabla 2. Resumen de las características de los agregados

Descripción	Valor	Unidad	Min	Max	Observación	Norma
AGREGADO GRUESO No. 7						
Gravedad Especifica Bulk	2,507	gr/cm ³	-	-	-	NTE INEN 857
Gravedad Especifica SSS	2,562	gr/cm ³	-	-	-	NTE INEN 857
Gravedad Especifica AP	2,654	gr/cm ³	-	-	-	NTE INEN 857
% Absorción	2,2	%	-	-	-	NTE INEN 857
Abración	27	%	-	50	Cumple	ASTM C-131
Resistencia a los Sulfatos	1,15	%	-	12	Cumple	NTE INEN 0871
AGREGADO GRUESO No. 8						
Gravedad Especifica Bulk	2,521	gr/cm ³	-	-	-	NTE INEN 857
Gravedad Especifica SSS	2,581	gr/cm ³	-	-	-	NTE INEN 857
Gravedad Especifica AP	2,682	gr/cm ³	-	-	-	NTE INEN 857
% Absorción	2,38	%	-	-	-	NTE INEN 857
Abración	26	%	-	50	Cumple	ASTM C-131
Resistencia a los Sulfatos	1,85	%	-	12	Cumple	NTE INEN 0871
AGREGADO FINO						
Gravedad Especifica Bulk	2,558	gr/cm ³	-	-	-	NTE INEN 856
Gravedad Especifica SSS	2,619	gr/cm ³	-	-	-	NTE INEN 856
Gravedad Especifica AP	2,724	gr/cm ³	-	-	-	NTE INEN 856
% Absorción	2,38	%	-	-	-	NTE INEN 856
Resistencia a los Sulfatos	7,97	%	-	12	Cumple	NTE INEN 0872
Equivalente de Arena	73	%	50	-	Cumple	NTE INEN 3124

Obtención del porcentaje teórico de mezcla

Para la obtención del porcentaje teórico de asfalto se hizo referencia al Asphalt Institute, 2014 [14], donde en función de la granulometría de la mezcla de agregado se determina la cantidad de asfalto óptima. Se consideró el tamaño máximo nominal del agregado para establecer los límites de material pasante y la cantidad de

material adecuada para una mezcla óptima. Los límites de acuerdo al tamaño máximo nominal se reportan en la Tabla 3. Los porcentajes de mezcla posibles que se ajusten a las curvas límites, arrojaron como resultados óptimos los porcentajes reportados en la Tabla 4. Se obtuvo un porcentaje teórico de asfalto aproximado de 5,5%, al ser un valor referencial, se tomó la decisión de aproximar el mismo hasta el 6%, ya que el Instituto del

Asfalto indica que para el diseño Marshall se deben tomar dos porcentajes por encima y dos por debajo, cada 0,5% del valor referencial, es decir que este rango del 5% al 7%, incluye al valor inicial obtenido (5,5 %). Luego de analizar los valores obtenidos en los ensayos Marshall de la mezcla normal, se determinó, que el porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla de agregados propuesta, era del 6,2%. Para realizar la mezcla modificada se partió con un valor de 6,2 % de asfalto. El ensayo Marshall se realizó con porcentajes de asfalto entre 5 % y 7,5 %. Se conformaron 3 briquetas para cada porcentaje, con un total de 15 especímenes. Se realizó el ensayo de Gravedad Específica Bulk a las briquetas y se procedió con la rotura de las mismas. Posteriormente se disgregaron y se realizó el ensayo Rice (Norma: AASHTO T-209, ASTM D-2041).

La sustitución de plástico por agregado, se realizó en porcentajes de 5%, 10%, 20%, 30%, 40% y 60%, en relación al peso del material que pasa por el tamiz 4 y se retiene en el tamiz 8. Se conformaron seis briquetas por cada porcentaje de plástico. El agregado fue tratado de igual manera que la mezcla sin modificar; pero con la excepción que la porción de plástico correspondiente no se incluyó en el horno, evitando de esta manera la formación de cúmulos de plástico con agregado. Para formar la mezcla asfáltica, la porción de plástico se agregó en la parte final del proceso de mezclado. El procedimiento para la fabricación de las briquetas fue igual al usado para la mezcla sin modificar, al igual que el proceso de desmolde, pesaje y ensayo en la máquina Marshall.

Tabla 3. Límites de material pasante

Tamaño máximo nominal		Tamiz N°	1 1/2"	3/4"	4	8	50	200
		Abertura (mm)	19	12,5	4,75	2,36	0,3	0,075
½ in.	12,5 mm	Min.	100	90	44	28	5	2
		Max.	100	100	74	58	21	10

Tabla 4. Porcentajes de agregado mineral

ABERTURA	in.	3/4"	1/2"	3/8"	4	8	30	50	100	200
	mm	19	12,5	9,5	4,75	2,36	0,6	0,3	0,15	0,075
MÍN. (%)		100	90	-	44	28	-	5	-	2
MEZCLA (%)			96,79	85,88	60,00	43,87	17,66	10,49	5,36	2,68
MÁX. (%)		100	100	-	74	58	-	21	-	10

Modificación de la mezcla asfáltica

Las tapas plásticas de polipropileno fueron previamente trituradas. Muestras del material triturado se sometió a ensayos de granulometría [15], Tabla 5. El tamiz número 8 con un tamaño de partícula pasante de 2,36 mm, retuvo el 60 % de todo el material. Resultado a partir del cual se realizó el reemplazo de agregado-plástico con las partículas que pasan el tamiz 4 y se retienen en el tamiz 8.

Módulo de rigidez

Para determinar el comportamiento del pavimento ante la carga vehicular se determinó el Módulo de rigidez, el cual es un método no destructivo de tracción indirecta. En este ensayo se utilizó una Máquina universal marca Cooper HYD25. Se proporcionaron pulsos de cargas con períodos de descanso en forma repetitiva (Frecuencia 0,33 Hz y Tiempo de carga 121 ms), se ensayaron dos

Tabla 5. Granulometría plástico triturado

Tamiz	Peso retenido parcial (g)	Peso reternido acumulado (g)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje pasante (%)
4	0	0	0	100
8	301,5	301,5	60,28	39,72
16	136,4	437,9	87,54	12,46
30	45,3	483,2	96,60	3,40
50	12,4	495,6	99,08	0,92
100	4,6	500,2	100	0
200	0	500,2	100	0
Bandeja	0	500,2	100	0

briquetas para mezcla no modificada y dos briquetas para mezcla modificada. Las muestras ensayadas se llevaron a una temperatura de 25 ± 1 °C y se centraron dentro del bastidor de montaje. Se ajustaron los deformímetros y la posición de la célula de carga hasta llegar a la posición de ensayo.

Resultados y Discusión

Caracterización de la mezcla asfáltica sin modificar basada en el % Asfalto utilizado en la mezcla

La Figura 1a, muestra que con el aumento del % de Asfalto en la mezcla la densidad Bulk en la briqueta disminuyó. Para el 6,2% de asfalto se tiene una densidad Bulk de $2,417 \text{ gr/cm}^3$. La estabilidad en la mezcla tiende a elevarse a medida que se aumentó la cantidad de asfalto, sin embargo, el exceso del mismo produce una disminución de la estabilidad a partir de 6,5% (Figura 1b). Para 6,2% de asfalto se tiene una estabilidad de 2120 lbf, valor que satisface el mínimo requerido por el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) para tráfico pesado de 1800 (lbf) y al ser menor a 2200 (lbf) satisface el mínimo requerido para tráfico muy pesado.

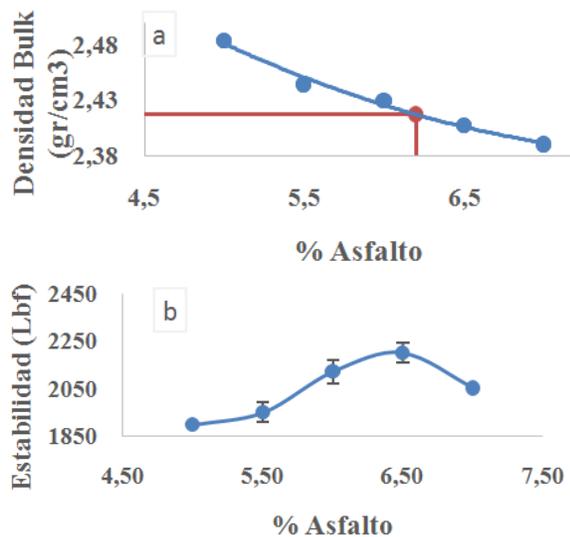
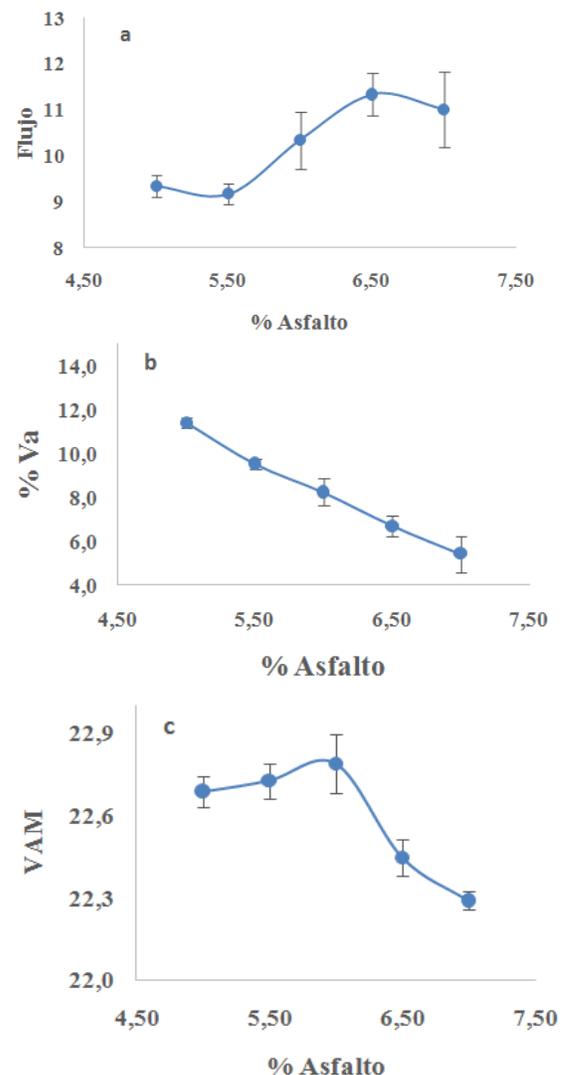


Figura 1. a) % Asfalto vs. Densidad Bulk, b) % Asfalto vs. Estabilidad.

El flujo en la briqueta aumento con la cantidad de asfalto (Figura 2a). Para un contenido de asfalto 6,2% se tiene un flujo de 10 centésimas de pulgada; valor que se encuentra dentro de los parámetros permitidos (8 a 14 centésimas de pulgada). Los vacíos (VA) en la mezcla asfáltica se mostraron inversamente proporcional a la cantidad de asfalto utilizado. Para el 6,2% de asfalto se tiene un porcentaje de VA 8,2 % (Figura 2b); valor fuera del rango permitido (de 3 a 5%). Los vacíos de agregado mineral (VAM) dentro de las briquetas disminuyeron a medida que se utilizó mayor cantidad de asfalto. Para el

6,2% de asfalto se tiene un 22,8 % de VAM (Figura 2c), valor que es mayor al mínimo requerido (14%). Los vacíos llenos con asfalto (VAF) en las briquetas fueron directamente proporcional a la cantidad de asfalto. Para el 6,2% de asfalto se tiene un VAF equivalente a 61,6% (Figura 2d), valor un poco menor a los límites permitidos (65 a 75%) en la norma. De acuerdo a estos resultados, la mezcla de referencia (mezcla asfáltica sin modificar) se conformó con un porcentaje de asfalto de 6,2%, manteniendo las siguientes propiedades: densidad Bulk $2,222 \text{ gr/cm}^3$, estabilidad 2170 (lbf), flujo 11 centésima de pulgadas, VA 7,5%, VAM 22,6% y VAF 63,9%. Para el estudio se consideró mantener algunas propiedades fuera de los rangos permitidos por la norma, a fin de monitorear con mayor precisión el efecto del material modificador en la mezcla al comparar los resultados obtenidos de la mezcla de referencia con los de la mezcla modificada.



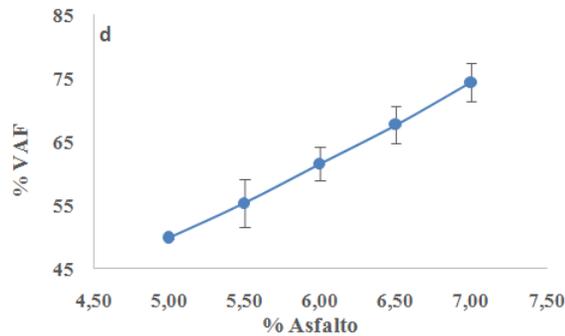


Figura 2. a) % Asfalto vs Flujo, b) % Asfalto vs VA, c) % Asfalto vs VAM, d) % Asfalto vs. VAF, para la mezcla asfáltica de referencia.

Caracterización de la mezcla asfáltica modificada basada en % Plástico utilizado en la mezcla

Los resultados para la mezcla modificada, utilizando un 6,2 % de asfalto, se muestran en las Figura 3 y Figura 4. A medida que aumentó el porcentaje de plástico en la mezcla la densidad Bulk en la briqueta disminuyó (Figura 3a). Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se tiene una densidad Bulk de 2,23 (gr/cm³). La estabilidad en la mezcla tiende a aumentar a medida que aumenta la cantidad de plástico (Figura 3b). Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se tiene una estabilidad de 2489 (lbf), que es mayor al mínimo, 2200 (lbf)), requerido por el MTOP para tráfico muy pesado. El flujo en las briquetas, aumentó progresivamente con la cantidad de asfalto incorporado a la mezcla (Figura 3c). Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se tiene un flujo de 14,3 centésimas de pulgada, valor dentro de los parámetros permitidos. Los Va de la mezcla asfáltica modificada disminuyeron con incorporaciones entre 5% y 20 % de plástico (Figura 4a) y se recuperan luego de incorporar % de Plástico mayores a 20%. Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se obtuvo un 4,66 % de Va, valor que puede ser considerado dentro de los permitidos por la norma (3 a 5%). Los VAM aumentaron con la cantidad de plástico en la mezcla (Figura 4b). Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se tiene un 23 % de VAM, valor mayor al mínimo requerido de 14%.

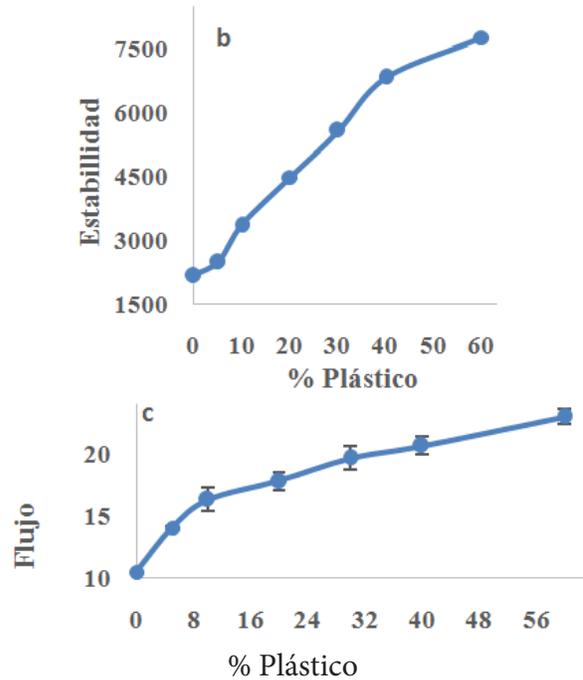
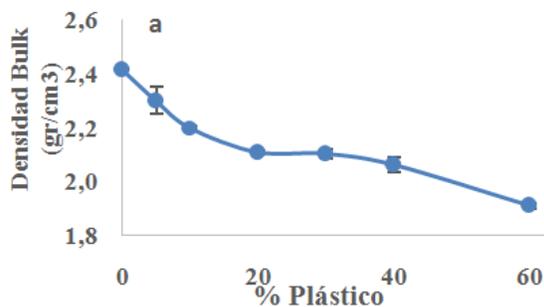
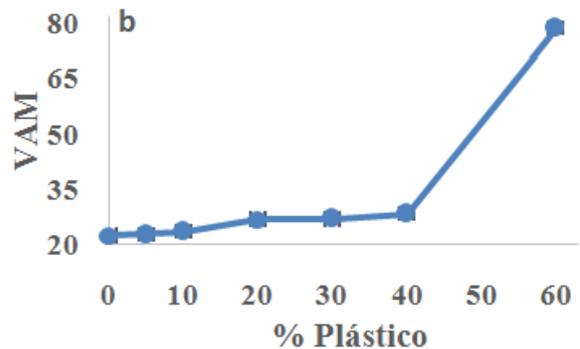
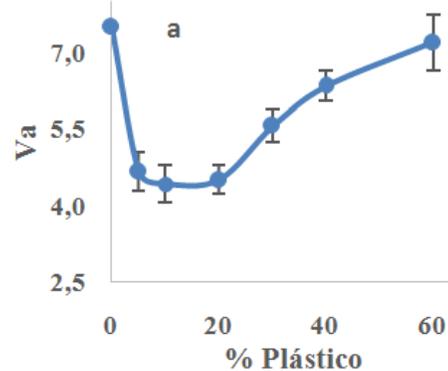


Figura 3. a) % Plástico vs. Densidad Bulk, b) % Plástico vs. Estabilidad, c) % Plástico vs. Flujo.



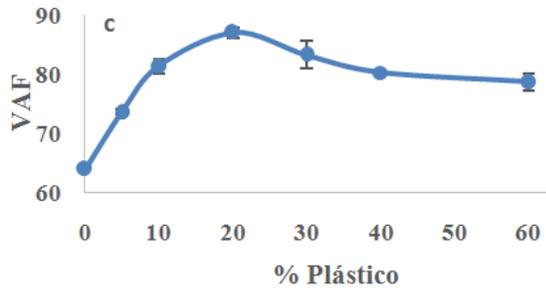


Figura 4. a) % Plástico vs. Va, b) % Plástico vs. VAM, c) % Plástico vs. VAF

Los VAF en las briquetas aumentaron aproximadamente en un 25 debido a la adición de material plástico adicionado con respecto a la mezcla sin modificar, a partir de 40% de plástico los VAF disminuyó (Figura 4c). Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se tiene un VAF equivalente a 74,2%, valor que se encuentra dentro de los límites permitidos (65 a 75%). Mediante los datos obtenidos se determina que el porcentaje óptimo de plástico en la mezcla modificada a considerar es del 5%.

En la Tabla 6, se comparan las propiedades de la mezcla modificada (porcentaje de plástico 5% y de asfalto 6,2 %) con las de la mezcla sin modificar (contenido de asfalto 6,2 %). De acuerdo a los criterios Marshall MOP-001-F2002 y FAA AC 150/5370-10G, podemos considerar que las propiedades volumétricas (VA, VAM y VAF) de la mezcla modificadas mejoraron en comparación con las de la mezcla de referencia, el Gmm no tuvo grandes variaciones, mientras que la densidad Bulk, estabilidad y el flujo aumentaron en presencia del modificador.

La densidad Bulk, permite verificar la efectividad del proceso de compactación que se lleva a cabo para conformar la mezcla, cuando se compararan los resultados entre las mezclas ensayadas se obtuvo que la compatibilidad no varía apreciablemente (2,222 g cm⁻³ para la mezcla sin modificar y 2,230 g cm⁻³ para la modificada).

Con la modificación de la mezcla se logró que los Va disminuyeran de 7,5 en la mezcla sin modificar a 4,5 en la mezcla modificada. De acuerdo a la literatura [16] los Va son especies de bolsas de aire entre agregados revestidos por el ligante en la mezcla final, los cuales permiten cierta compactación adicional bajo el tráfico a través de los espacios donde puede fluir el asfalto. Cuanto menor sea la cantidad de vacíos, menor es la permeabilidad de la mezcla y por ende puede esperarse mayor durabilidad del pavimento. Mientras que, los VMA se definen como la suma de los volúmenes de los huecos de aire y el aglutinante no absorbido en la mezcla compactada y los VFA como el porcentaje de VMA que contiene aglutinante asfáltico

[17]. Los VAM en la mezcla modificada aumentaron cuando se modificó con el plástico. Este resultado se asocia al aumento de espacios disponibles para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesario. Valores de VMA por debajo del mínimo especificado en la norma, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. La literatura reporta [18], que las fibras de polipropileno reducen la viscosidad de la mezcla lo que podría justificar que al aumentar el contenido de % de plástico en la mezcla, disminuya el VFA% cuando se incorporó % de Plástico mayores al 20% (Figura 4c).

El aumento de la estabilidad y flujo en la mezcla modificada con relación a la no modificada, puede estar relacionado con la penetración de partículas de polipropileno en la mezcla, lo cual propicia la interrelación y compactación de los agregados [19]. Esta característica permite un aumento favorable de la rigidez sin comprometer la durabilidad del pavimento. Este fenómeno ha sido observado para mezclas de polipropileno en composites de suelos [20] y concretos de asfalto [21]. El valor de estabilidad promedio máximo de la mezcla de referencia fue de 2170 lbf mientras que para la mezcla modificada fue de 2489 lbf (Tabla 6), de acuerdo con los criterios de trabajabilidad elegidos significa un aumento de aproximadamente 20% en estabilidad cuando se introdujo el plástico en la mezcla. La incorporación de material plástico, puede contribuir a un mejor acomodo de las partículas del material pétreo, lo que conlleva a disminuir el Va de la mezcla modificada, en comparación con el de la no modificada, esto podría reflejarse en un aumento a la resistencia a la formación de surcos si se utilizara la mezcla sobre una calzada, especialmente en climas cálidos o lugares de alto tráfico, donde una menor proporción de vacíos puede ser muy útil.

Ensayos de módulo de rigidez

El ensayo de módulo de rigidez, mezcla con 6,2% de asfalto 5% de plástico, se rigió bajo la norma UNE-EN 12697:26 2012 (Tabla 7). Se obtuvo que el módulo de rigidez efectivo a la tracción indirecta, aumentó de 1466 Mpa en la mezcla sin modificar a 1777 Mpa en la mezcla modificada, y la deformación horizontal se redujo de 5,25 μm a 4,71 μm, respectivamente. El módulo de rigidez y la deformación horizontal son indicadores potenciales del agrietamiento que puede sufrir el pavimento, una deformación alta a la falla, y orientan en el desempeño de la mezcla asfáltica en poder tolerar deformaciones altas antes de fallar, lo que nos permite diagnosticar que la mezcla modificada con las tapas plásticas probablemente resista más el agrietamiento que una mezcla con una deformación baja a la falla [20], ya que presenta mayor rigidez y menor deformación en comparación con la mezcla sin modificar.

Tabla 6. Resumen de resultados obtenidos sobre las mezclas sin modificar y modificada con 5% de plástico

Ensayo	Criterios MOP-001-F2001		Criterios FAA AC 150/5370-10G		Resultados			
	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	Asfalto	Resul-tado	MOP-001-F2001	FAA AC 150/5370-10G
Va	3	5	2	5	Sin modificar	7,50	No cumple	No cumple
					Modificado	4,60	Si cumple	Si cumple
VAM	>14	.....	14	.....	Sin modificar	22,60	Si cumple	Si cumple
					Modificado	22,86	Si cumple	Si cumple
VAF	65	75	.....	.....	Sin modificar	63,90	No cumple	No se puede especificar
					Modificado	74,00	Si cumple	No se puede especificar
Estabilidad	1800	.....	1800	.....	Sin modificar	2170	Si cumple	Si cumple
					Modificado	2489	Si cumple	Si cumple
Flujo	8	14	8	18	Sin modificar	10,50	Si cumple	Si cumple
					Modificado	14,30	Si cumple	Si cumple
Gmm	.....	.....	.....	.....	Sin modificar	2,339	.....	.....
					Modificado	2,333	.....	.....

Tabla 7. Ensayos de Módulo de rigidez en las mezclas asfálticas

Módulo de rigidez	Criterio: UNE-EN 112697:262012		Asfalto	Resultado	Criterio: UNE-EN 112697:262012
Ajustado (Mpa)	MÍM 1150	MÁX 3000	Sin modificar	1466	Si cumple
			Modificado	1777	Si cumple
Deformación horizontal (μm)	$5 \pm 2 \mu\text{m}$		Sin modificar	5,25	Si cumple
			Modificado	4,71	Si cumple

Conclusiones

La adición de tapas plásticas a base de polipropileno a la mezcla asfáltica mostró un aumento en la estabilidad Marshall, el flujo Marshall, el porcentaje de VAM y VAF mientras que disminuyó el % de VA. El estudio permite concluir que la aplicación de polipropileno altera las características de la mezcla asfáltica de una manera beneficiosa, contribuyendo positivamente al mejoramiento de su estabilidad y rigidez. La mezcla modificada, podría ser capaz de soportar deformaciones básicas, ya que no es excesivamente rígida ni tampoco es muy elástica como para presentar deformaciones excesivas. Se logró una mezcla asfáltica modificada, con características útiles que permiten sugerir su posible buen desempeño en pavimentación, a fin de desarrollar una nueva generación de productos de alto rendimiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Materiales de Construcción (PUCE-Quito, Ecuador) por su invaluable asistencia técnica y a su Director Mgtr. Jorge Bucheli por la apertura para la investigación. A HOLCIM, por haber proporcionado el material.

Referencias Bibliográficas

- [1] Whiteoak C.D.: The shell bitumen hand book. Surrey, UK, 2003
- [2] Lesueur D.: The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanism of bitumen modification. Adv. Colloid Interface Sci., Vol. 145, No.1-2 (2009) 42-82.

- [3] González O., Muñoz M.E., Santamaría A., García-Morales M., Navarro F.J. and Partal P.: Rheology and Stability of bitumen/EVA blends. *European Polymer Journal*, Vol. 40, No.10 (2004) 2365-2372.
- [4] Huang Y., Bird R.N. and Heidrich O.: A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements, *Resour. Conserv. Recycl.*, Vol.52, No.1(2007) 58- 73.
- [5] Akbulut H. and Güler C.: Use of aggregates produced from marble quarry waste in asphalt pavements, *Build. Environ.*, Vol 42 (2007) 1921-1930.
- [6] Sridhar V., Xiu Z.Z., Xu D., Lee S.H., Kim J.K. and Kang D.J.: Fly ash reinforced thermoplastic vulcanizates obtained from waste tire powder, *Waste Manage.*, Vol. 29, No. 3 (2009) 1058-1066.
- [7] Magioli M., Siqueiraand A.S. and Soares B.G.: The effect of dynamic vulcanization on the mechanical, dynamic mechanical and fatigue properties of TPE based on polypropylene and ground tire rubber, *Polym. Testing*, Vol. 29, Vol. 7 (2010) 840-848.
- [8] Satapathy S., Nag A. and Nando G.B.: Thermoplastic elastomers from waste polyethylene and reclaim rubber blends and their composites with fly ash, *Process Saf. Environ. Prot.*, Vol. 88, No. 2 (2010) 131-141.
- [9] Zhang S.L., Xin Z.X., Zhang Z.X. and Kim J.K.: Characterization of the properties of thermoplastic elastomers containing waste rubber tire powder. *Waste Manage*, Vol. 29 No. 5 (2009) 1480-1485.
- [10] Karger-Kocsis J., Meszaros L. and Barany T.: Ground tyre rubber (GTR) in thermoplastics, thermosets, and rubbers. *J. Mater. Sci.*, Vol. 48, No.1 (2013) 1-38.
- [11] Hassan M.M., Badway N.A., Gamal A.M., Elnaggar M.Y., Hegazy E.S.A.: Studies on mechanical, thermal and morphological properties of irradiated recycled polyamide and waste rubber powder blends. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B*, Vol. 268, No. 9 (2010) 1427-1434.
- [12] Ohio Department of Transportation, Construction and Materials Specifications. ITEM 400HS Standard specifications for asphalt concrete-high stress using polypropylene fibers, Ohio, 1998.
- [13] PETROQUIM. (s.f.): QUÉ ES EL POLIPROPILENO. Santiago de Chile, Chile.
- [14] ASPHALT Institute. (2014). ASPHALT MIX DESIGN METHODS. Lexington
- [15] I.N.V.E. (2007). Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. I.N.V. E - 213 - 07.
- [16] Garnica Anguas P., Delgado Alamilla H., Gomez Lopez J. A., Alonso Romero S. y Alarcon Orta H. A. (2004). Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas. Publicación técnica, (246).
- [17] Hislop P, Coree J, VMA as a design parameter in hot-mix asphalt, Mid-Continent Transport Symp 2000 Proc, Iowa, USA, 15-16 May 2000
- [18] Abtahi S.M., Sheikhzadeh M. and Hejazi S.M.: Fiber-reinforced asphalt-concrete- a review, *Constr Build Mater*, Vol. 24, No. 6 (2010) 871-877.
- [19] Al-Hadidy A.I. and Tan Y.Q.: Effect of polyethylene on life of flexible pavements, *Constr. Build Mater*, Vol. 23, No. 3 (2009) 1456-1464.
- [20] Jamellodin Z., Abu Talib Z., Kolop R. and Noor N.: The effect of oil palm fibre on strength behavior of soil, Proc 3rd Int Conf Southeast Asian Nat Reso Environ Manage (SANREM), Kota Kinabalu, Malaysia, 3-5 August 2010.
- [21] Mahrez A., Karim M.R. and Katman H.Y.: Fatigue and deformation properties of glass fiber reinforced bituminous mixes, *J East Asia Soc Transport Stud*, Vol. 6, No. 6 (2005) 997-1007.
- [22] Garnica Anguas P., Flores Flores M., Gómez López J. A. y Delgado Alamilla H. (2005). Caracterización geomecánica de mézclas asfálticas. Publicación técnica, (267).



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 42. N°3, Septiembre - Diciembre 2019, pp. 104 -151 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en
Septiembre de 2019, por el **Fondo Editorial Serbiluz,**
Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

**www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
produccioncientifica.luz.edu.ve**