

Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente Modificadas con Elastómero (caucho) y Tereftalato de Polietileno reciclados con Ligante Asfáltico AC-20

Design of Hot Asphalt Mixtures Modified with Elastomer (rubber) and Polyethylene Terephthalate recycled with AC-20 Asphalt

Patricio Romero Flores ⁽¹⁾, **Hugo Bonifaz García** ⁽²⁾, **Mary Revelo Corella** ⁽³⁾

⁽¹⁾ Director del Proyecto de Grado
peromero@espe.edu.ec

⁽²⁾ Codirector del Proyecto de Grado
hfbonifaz@espe.edu.ec

⁽³⁾ Estudiante de Ingeniería Civil
maryrevelo257@gmail.com

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación es analizar y comparar el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con relación a una mezcla asfáltica normal, los materiales modificadores utilizados son de origen plástico como el elastómero (caucho) proveniente de neumáticos fuera de uso y tereftalato de polietileno (PET) proveniente de botellas de plástico recicladas con el fin de crear una alternativa de aplicación de estos materiales que generan contaminación al ambiente puesto que su biodegradación se produce a los 500 años. La granulometría utilizada corresponde a la Mezcla Asfáltica Normal MAC-2 determinada por la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 para un material pétreo de tamaño máximo nominal $\frac{3}{4}$ ". El trabajo realizado en laboratorio consta de caracterización de los materiales a utilizarse como el agregado, cemento asfáltico, elastómero y PET, posteriormente se realiza la elaboración y ensayo de estabilidad y flujo de briquetas mediante el Método Marshall, inicialmente para determinar el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla patrón y luego la aplicación de materiales modificadores en porcentajes variables, con lo que se determina el porcentaje óptimo elastómero y el porcentaje óptimo de la combinación 50% de elastómero y 50% de PET, finalmente se analiza el comportamiento de las mezclas diseñadas al ser sometidas a cambios bruscos de temperatura en un ensayo de choque térmico.

Palabras clave: Mezclas Asfálticas Modificadas, Elastómero, Tereftalato de Polietileno, Estabilidad y Flujo, Choque térmico.

ABSTRACT

The main objective of the research is to analyze and compare the performance of the asphalt mixtures modified with related to a normal asphalt modifiers, plastic materials source and elastomer (rubber) from used tires and polyethylene terephthalate (PET) from recycled plastic bottles in order to create an alternative application of these materials that cause pollution to the environment since their biodegradation occurs within 500 years. The grain used corresponds to the Normal Mix Asphalt MAC-2 determined by the Standard Vial Ecuadorian NEVI-12 for a stone material of nominal maximum size $\frac{3}{4}$ ". The laboratory work consists of characterization of materials for use as aggregate, asphalt cement, PET, elastomer and subsequently the development and testing of stability and flow of briquettes by Marshall Method is performed initially to determine the optimum asphalt of the standard mixture and then the application of modifier materials in varying percentages, so that the elastomer optimum percentage and the combination 50% elastomer and 50% PET optimum percentage determined, finally behavior analyzing mixtures designed to be subjected to sudden changes in temperature in a thermal shock test.

Keywords: Modified Asphalt Mixtures, Elastomer, Polyethylene Terephthalate, Stability and Flow, Thermal shock.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo y avance de un País se manifiesta por la infraestructura vial que posee y es lo que Ecuador ha logrado en los últimos 5 años, de manera que la tecnología para acrecentar la vida útil de las vías avanza constantemente. Desde hace algunos años en nuestro país se ha implementado asfaltos modificados con polímeros que de manera general no son ecológicos y no contribuyen a la mitigación de la contaminación, por tal motivo este proyecto pretende sustituir la utilización de dichos polímeros con materiales reciclados, tratando de mantener y mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas a menor costo.

Estamos en un período en el que uno de los objetivos principales es reducir la contaminación del medio ambiente y cada vez aumentan los proyectos de reciclaje, tratamiento y reutilización de desechos. Para este proyecto se analizan dos de los desechos más peligrosos no biodegradables como son el caucho de llanta y el plástico reciclado RPET que reducen la vida útil de los rellenos sanitarios puesto que su tamaño no permite el drenaje correcto y aporta a la emisión de lixiviados.

La trituración mecánica de las llantas fuera de uso permite obtener un nuevo material de alta calidad como materia prima en varias aplicaciones. La empresa recicladora más grande del País Recypet Continental recibe cerca de 1.4 millones de botellas diariamente [1] para procesarla, hasta tener como resultado la escarcha de tereftalato de polietileno reciclado RPET que sirve de materia prima para varias aplicaciones industriales que se asocian cada vez más al cuidado del medio ambiente por lo que muchos de los nuevos proyectos, experimentos a nivel mundial se basan en la utilización de material reciclado, no sólo en mezclas asfálticas, sino también en la estructura misma del pavimento flexible, o en elementos de construcción en donde el plástico y el caucho son la principal materia prima para que los proyectos funcionen correctamente, debido a sus propiedades.

1. ESTADO DEL ARTE

Se hace referencia a todos aquellos productos realizados con los materiales modificadores de mezclas asfálticas como lo son el tereftalato de polietileno PET y el elastómero reciclados, que han sido probados en la industria y acogidos por los fabricantes, dentro y fuera del Ecuador. La utilización de los materiales modificadores en la Industria se expone a continuación.

El novedoso asfalto Plastisoil está fabricado con botellas de plástico (tereftalato de polietileno PET) pulverizadas mezclado con tierra. Es fruto de la investigación de Naji Khouri, profesor asistente de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Temple, en Filadelfia (Estados Unidos).

Las botellas de plástico trituradas son mezcladas con tierra, se calientan hasta formar una sustancia dura similar al cemento, pero más permeable y porosa, esto facilita la absorción del agua, aceite y suciedad y produce mayor adherencia y seguridad al circular por las carreteras.

Una segunda aplicación son los ladrillos de plástico reciclado; se necesita como materia prima, los envases de plástico de polietileno, cemento portland, agua y aditivos para la mezcla. Las piezas de ladrillo de plástico reciclado alcanzan su resistencia de uso al cabo de los 28 días desde su creación, momento en que podrán ser colocadas en los cerramientos o como mampostería.

Diseño de un pavimento flexible adicionando tereftalato de polietileno como material constitutivo junto con ligante asfáltico AC-20, este diseño emplea el material triturado de botellas de plástico (PET) en las mezclas asfálticas como una solución para remplazar en un futuro el uso de pavimentos mejorados con polímeros.

La fabricación de pequeños adoquines a base de caucho de llantas recicladas representa un beneficio para el sector de la construcción, por las características que tiene el adoquín, a diferencia del de arcilla o el de hormigón, este es más flexible, ayuda para que las pisadas de las personas sean más suaves, es antiruido y antideslizante.

Producto utilizado para el aislamiento acústico y vibracional de paredes, suelos y techos, está compuesto por partículas de caucho reciclado. Este producto puede competir como absorbente acústico con los productos del mercado, como la fibra de vidrio y poliestireno expandido.

2. METODOLOGÍA

- 1.- Determinar las características y propiedades de los agregados mediante los ensayos: granulometría, equivalente de arena, abrasión, peso específico y porcentaje de absorción, aplicando las respectivas normas ASTM.
- 2.- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del ligante asfáltico mediante los ensayos: penetración, punto de ablandamiento y peso específico, aplicando las respectivas normas ASTM.
- 3.- Determinar el peso específico y reacción a la temperatura del elastómero y del tereftalato de polietileno.
- 4.- Diseñar una mezcla asfáltica en caliente convencional sin adición de materiales modificadores mediante el Método Marshall, obteniendo el porcentaje óptimo de asfalto.
- 5.- Diseñar una mezcla asfáltica modificada con elastómero reciclado y con la combinación del 50% de elastómero y 50% de tereftalato de polietileno reciclado RPET,

determinar el porcentaje óptimo de material modificador, mediante el Método Marshall.

6.- Analizar los resultados en los ensayos realizados en cada una de las mezclas asfálticas, y comparar las propiedades estáticas y volumétricas entre la mezcla tradicional y las mezclas modificadas.

7.- Realizar el ensayo de choque térmico de las tres mezclas realizadas: convencional, modificada con elastómero y modificada con la combinación 50% elastómero y 50% tereftalato de polietileno y realizar el respectivo análisis comparativo.

Las Normas ASTM utilizadas en el siguiente proyecto de grado son las siguientes:

Ensayo	Norma ASTM
Caracterización de los agregados	
Muestreo de áridos	D 75
Reducción de muestras a tamaños de ensayo	C 702
Granulometría de agregados finos y gruesos	C 136-06
Gravedad específica y absorción para agregado fino	C 128-12
Gravedad específica y absorción para agregado grueso	C 127-12
Resistencia a la abrasión del árido grueso	C 131
Equivalente de arena al tráfico pesado	D 2419
Caracterización del ligante asfáltico	
Muestreo de ligante asfáltico	D140
Punto de ablandamiento del asfalto	D 36
Penetración	D 5
Peso específico	D 70
Especímenes Marshall	
Elaboración de especímenes	D 6926
Densidad Bulk	D 2726
Estabilidad y fluencia Marshall	D 6927
Gravedad específica teórica máxima	D 2041

Tabla 1. Normas ASTM utilizadas en el presente proyecto

3. MATERIALES UTILIZADOS

El agregado proviene de la cantera de Pifo y el asfalto AC-20 de la planta asfáltica del sector de Calacalí.

Los materiales modificadores utilizados son las partículas de elastómero triturado o pulido y la escarcha de tereftalato de polietileno PET producto de la trituración de botellas de plástico, los dos materiales dispuestos en tamaño: pasante del tamiz No. 10 y retenido en el tamiz No. 40.

La faja granulométrica utilizada es la denominada Mezcla Asfáltica Normal MAC-2 para un tamaño máximo nominal de 3/4" [2]:

Tamiz	MAC-2
25 mm (1")	-
19 mm (3/4")	100
12,5 mm (1/2")	80-100
9,5 mm (3/8")	70-88
4,75 mm (No.4)	51-68
2 mm (No.10)	38-52
425 mm (No.40)	17-28
180 mm (No.80)	8-17
75 mm (No.200)	5-8

Tabla 2. Faja granulométrica para tamaño máximo nominal de agregado 3/4" - NEVI-12

El resultado de la estabilización granulométrica para la determinación de los porcentajes (pasantes) de mezcla son los siguientes:

Tamiz	MAC-2
25 mm (1")	--
19 mm (3/4")	--
12,5 mm (1/2")	86,95
9,5 mm (3/8")	74,85
4,75 mm (No.4)	56
2 mm (No.10)	42,98
425 mm (No.40)	21,94
180 mm (No.80)	14,08
75 mm (No.200)	6,51

Tabla 3. Porcentajes reales de mezcla

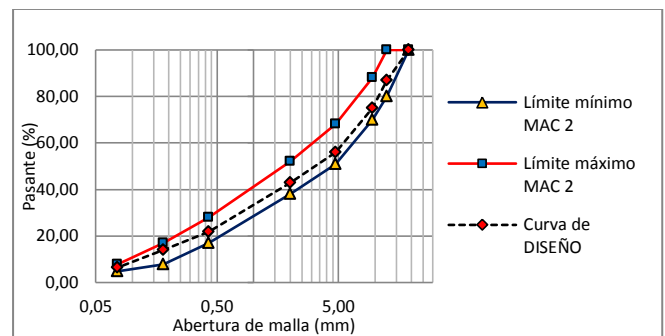


Gráfico 1. Curva granulométrica real utilizada

4. MÉTODO MARSHALL

5.1. Porcentaje óptimo de asfalto

Se utiliza cinco porcentajes como mínimo para la determinación del óptimo de asfalto para crear puntos suficientes en las curvas de análisis Marshall, estos

porcentajes son 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, y 7%. De esta manera se analiza el comportamiento de las mezclas mediante las propiedades volumétricas de la mezcla compactada para finalmente determinar mediante el gráfico *Asfalto (%) vs Vacíos de aire (%)* el porcentaje óptimo de asfalto al 4% de vacíos como diseño.

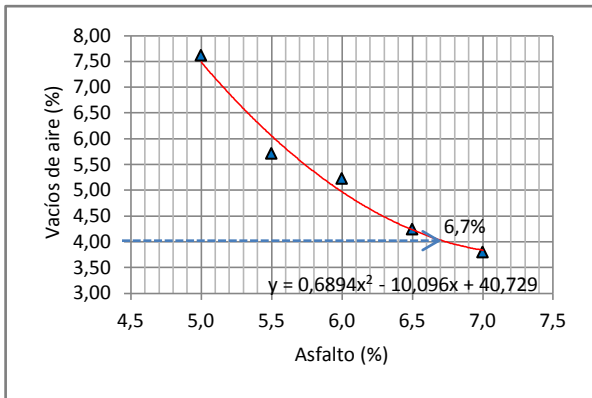


Gráfico 2. Asfalto (%) vs Vacíos de aire (%)

De esta manera se obtiene 6,7% como porcentaje óptimo de asfalto y con este valor se ingresa en cada una de las curvas de relación:

- *Asfalto (%) vs Densidad Bulk (g/cm³)*
- *Asfalto (%) vs Estabilidad (lb)*
- *Asfalto (%) vs Flujo (0,01’’)*
- *Asfalto (%) vs VAM (%)*
- *Asfalto (%) vs VAF (%)*

Así, se obtienen los siguientes resultados y la determinación de rangos dentro de los cuales deben encontrarse.

Asfalto	Bulk	Estab.	Flujo	Va	VAM	VAF
%	g/cm ³	lb	0,01’’	%	%	%
6,7	2,206	3218,2	12,08	4	16,20	75,1
Valores de aceptación NEVI-12 [3]						
Mín	--	1800	8	3	14	65
Máx	--	--	14	5	--	75
Condición	--	cumple	cumple	cumple	cumple	se acepta

Tabla 4. Resumen de resultados - mezcla patrón

5.2. Porcentaje óptimo de elastómero

Para la modificación de la mezcla asfáltica normal se utilizó de elastómero en 5%, 10%, 15%, 20%, 25% con respecto al 6,7 % de asfalto óptimo calculado en gramos (70,35g).

Al analizar las propiedades volumétricas, no se puede determinar el porcentaje óptimo de material modificador en base al gráfico *Asfalto (%) vs Vacíos de aire (%)*, puesto que

el porcentaje de vacíos sobrepasa el límite máximo de 5%, por lo tanto se determina en base al gráfico *Asfalto (%) vs Estabilidad (lb)*, tomando el valor que corresponde a la estabilidad máxima que se obtuvo la cual es de 3300,4 lb y corresponde a 7,5% de elastómero.

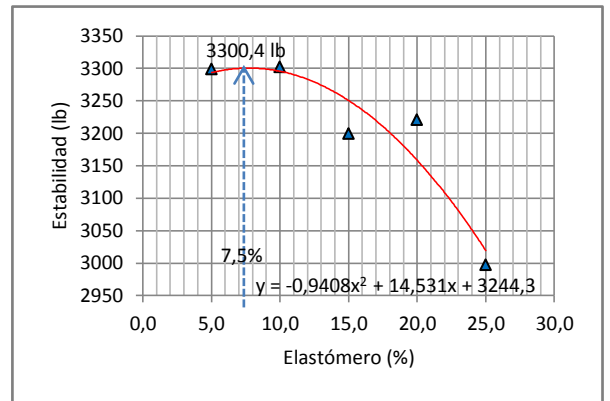


Gráfico 3. Asfalto (%) vs Estabilidad (lb)

Con el valor determinado se ingresa en cada una de las curvas de relación:

- *Asfalto (%) vs Vacíos de aire (%)*
- *Asfalto (%) vs Densidad Bulk (g/cm³)*
- *Asfalto (%) vs Flujo (0,01’’)*
- *Asfalto (%) vs VAM (%)*
- *Asfalto (%) vs VAF (%)*

Así, se obtienen los siguientes resultados y la determinación de rangos dentro de los cuales deben encontrarse.

Elastómero	Bulk	Estab.	Flujo	Va	VAM	VAF
%	g/cm ³	lb	0,01’’	%	%	%
7,5	2,173	3300,4	15,87	5,47	17,4	70,1
Valores de aceptación NEVI-12 [3]						
Mín	--	1800	8	3	14	65
Máx	--	--	14	5	--	75
Condición	--	cumple	No cumple	No cumple	cumple	cumple

Tabla 5. Resumen de resultados - mezcla modificada con elastómero

5.3. Porcentaje óptimo de material 50E-50P

Para la modificación de la mezcla asfáltica normal se utilizó material 50E-50P (50% de elastómero y 50% de PET), en 5%, 10%, 15%, 20%, 25% con respecto al porcentaje óptimo de asfalto calculado en gramos (70,35g).

La determinación del porcentaje óptimo de este material se realizó de la misma manera que en el elastómero. Por lo tanto la curva de diseño utilizada es la siguiente:

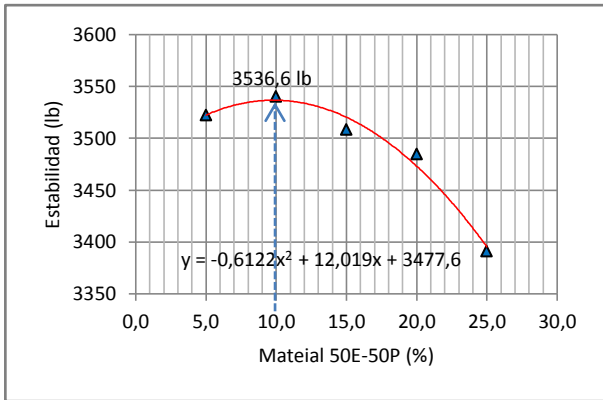


Gráfico 4. Asfalto (%) vs Estabilidad (lb)

Con el valor determinado se ingresa en cada una de las curvas de relación:

- Asfalto (%) vs Vacíos de aire (%)
- Asfalto (%) vs Densidad Bulk (g/cm3)
- Asfalto (%) vs Flujo (0,01")
- Asfalto (%) vs VAM (%)
- Asfalto (%) vs VAF (%)

Así, se obtienen los siguientes resultados y la determinación de rangos dentro de los cuales deben encontrarse.

50E-50P	Bulk	Estab.	Flujo	Va	VAM	VAF
%	g/cm3	lb	0,01"	%	%	%
10	2,157	3536,6	15,9	6,02	18	66,55
Valores de aceptación NEVI-12 [3]						
Mín	--	1800	8	3	14	65
Máx	--	--	14	5	--	75
Condi ción	--	cum ple	No cum ple	No cum ple	cum ple	cum ple

Tabla 6. Resumen de resultados - mezcla modificada con 50E-50P

5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Para este análisis se toma como base los datos obtenidos en cada una de las propiedades de la mezcla asfáltica normal (mezcla patrón) y los datos de las propiedades de las mezclas modificadas, obtenidos a partir de la determinación del porcentaje óptimo de material modificador.

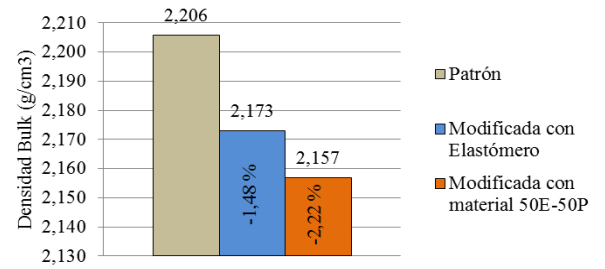


Gráfico 5. Análisis comparativo - Densidad Bulk (g/cm3)

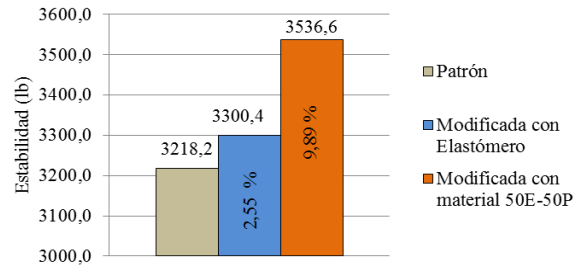


Gráfico 6. Análisis comparativo - Estabilidad (lb)

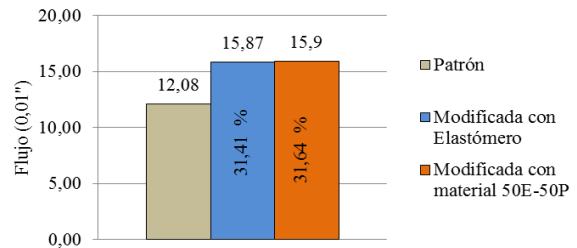


Gráfico 7. Análisis comparativo - Flujo (0,01")

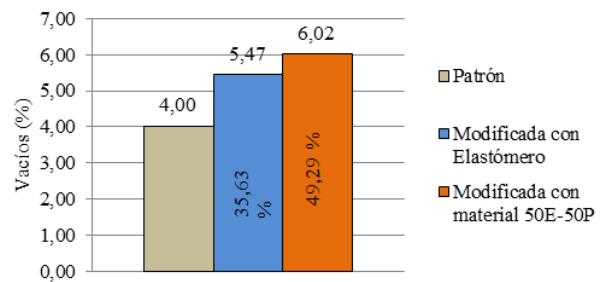


Gráfico 8. Análisis comparativo - Vacíos (%)

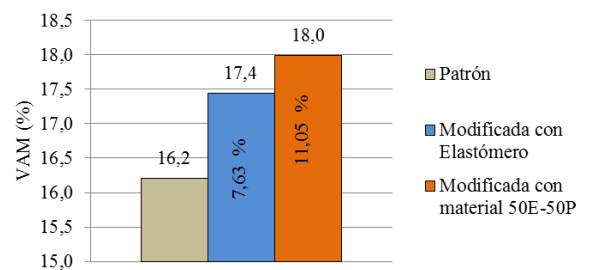


Gráfico 9. Análisis comparativo - VAM (%)

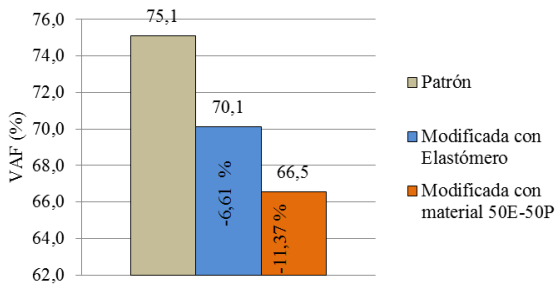


Gráfico 10. Análisis comparativo - VAF (%)

6. ANÁLISIS DE ENSAYO CHOQUE TÉRMICO

Siendo:

- 1.- Mezcla asfáltica patrón
- 2.- Mezcla asfáltica modificada con elastómero
- 3.- Mezcla asfáltica modificada con material 50E-50P

Resultados de estabilidad (lb).-

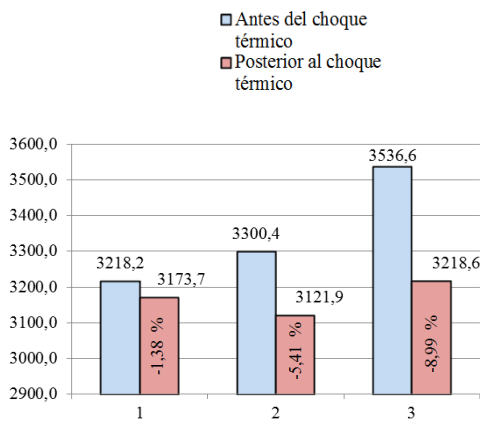


Gráfico 11. Datos de estabilidad (lb) antes y después del choque térmico

Resultados de flujo (0,01'').-

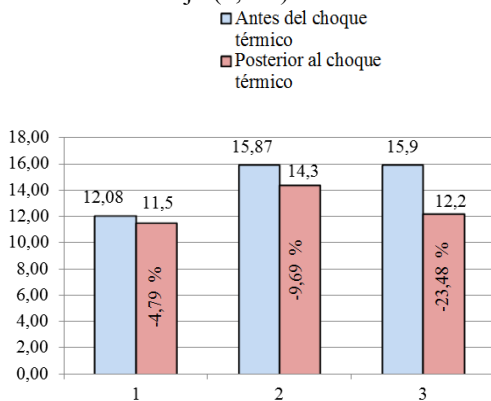


Gráfico 12. Datos de flujo (0,01'') antes y después del choque térmico

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

- Con los datos expuestos en los literales 5 y 6 se determina que la mezcla con mejores resultados obtenidos en este proyecto de grado es la mezcla asfáltica modificada con el 7,5 % de partículas de elastómero (pasante del tamiz No. 10 y retenido en el tamiz No. 40).

- Los materiales: elastómero (caucho) y tereftalato de polietileno PET, pueden ser usados en la modificación de mezclas asfálticas, como modificadores en lugar de polímeros ya existentes en el mercado, de esta manera se genera una alternativa de aplicación de desechos no biodegradables que contribuya a la conservación del ambiente.

- La baja densidad de los materiales modificadores es el principal factor que genera una variación considerable en las propiedades volumétricas de la mezcla, siendo el más importante el porcentaje de vacíos, que está relacionado directamente con el volumen y la densidad Bulk de la mezcla compactada.

8.2. Recomendaciones

- Por el flujo resultante en los dos tipos de mezclas: modificada con elastómero igual a 15,87 (0,01'') y modificada con 50% del elastómero y 50% de RPET igual a 15,9 (0,01''), los cuales sobrepasan el límite superior de 14 décimas de pulgada, se recomienda que sea utilizadas en vías de tráfico liviano en donde el rango de variación del flujo es de 8 a 16 décimas de pulgada definido por la NEVI-12.

- La mezcla modificada con elastómero se puede aplicar para capa de rodadura a pesar de su porcentaje de vacíos del 5,47% cuando el límite superior permitido es de 5% de vacíos, puesto que en obra puede mejorarse la compactación de la mezcla, así aumentas la densidad Bulk de la mezcla compactada y disminuyen los vacíos, esto se puede lograr incrementando la carga de compactación.

- Se recomienda utilizar máximo el 5% de elastómero, debido a los elevados valores de flujo y porcentajes de vacíos que se obtiene con el incremento gradual de porcentaje de material modificador en la mezcla.

- Debido a que cierta proporción de las partículas de elastómero es polvo, este influye en el aumento del flujo, por lo que se recomienda usar un material homogéneo, para tener un análisis más exacto del comportamiento de la mezcla.

- Se recomienda aplicar los ensayos de rueda cargada para el análisis dinámico de las mezclas asfálticas modificadas diseñadas en este proyecto, puesto que si bien es cierto, el flujo no aumenta en gran porcentaje para los

óptimos obtenidos de elastómero y material 50E-50P, hay que comprobar que no genera un ahuellamiento considerable a corto plazo.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Recypet. (s.f de s.f de s.f). Recypet Continental.
<http://www.recypet.com.ec/quienes-somos/>

- [2] NEVI-12 405-5.02.3. (s.f de s.f de 2013). Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Obtenido de Ministerio de Transporte y Obras Públicas:
http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf

- [3] NEVI-12 405-5.04. (s.f de s.f de 2013). Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Obtenido de Ministerio de Transporte y Obras Públicas:
http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf