

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

TECHNICAL CHARACTERISTICS OF ASPHALT MIXTURES MODIFIED WITH LOW DENSITY POLYETHYLENE

ROJAS ESPINOZA, I. M., SOLIZ SALVATIERRA, B.

RESUMEN

La red fundamental de Bolivia cuenta con 16029 km, 4788 km son caminos pavimentados representando un 30 %, 6313 km de ripio un 39 % y 4928 km con superficie de rodadura de tierra 31 % del total. Los asfaltos modificados son el producto de la disolución o incorporación de un aditivo modificador (polímero o no polímero), que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades como: menor susceptibilidad a la temperatura, mayor intervalo de plasticidad, mayor cohesión, mejor respuesta elástica, mayor resistencia al agua y al envejecimiento. Se caracterizaron los agregados, el cemento asfáltico y el polietileno de baja densidad a utilizar. Para la preparación de las briquetas, el peso total de los agregados utilizados en la mezcla asfáltica fue de 1150 g, el cual fue compuesto por los porcentajes obtenidos en la dosificación por el método de tanteos, el peso en gramos de cada componente de la mezcla. Se diseñaron las mezclas asfálticas convencional, modificada y de comprobación mediante el método Marshall. Se determinaron para cada caso el Volumen de vacíos total, Fluencia, Vacíos llenos de asfalto, Vacíos en el agregado mineral, Rigidez Marshall Determinando los valores óptimos de cemento asfáltico y polietileno de baja densidad.

PALABRAS CLAVE

Método Marshall, Mezclas asfálticas, Cemento asfáltico, Polietileno de baja densidad

ABSTRACT

The fundamental network of Bolivia has 16,029 km, 4,788 km are paved roads representing 30%, 6,313 km of gravel road for 39% and 4,928 km with dirt rolling surface 31% of the total. Modified asphalt is the product of the dissolution or incorporation of a modifying additive (polymer or non-polymer), which are substances that are stable over time and at changes in temperature that are added to the asphalt material to modify its properties such as: less susceptibility to temperature, greater range of plasticity, greater cohesion, better elastic response, greater resistance to water and aging. The aggregates, asphalt cement and low-density polyethylene to be used were characterized. For the preparation of the briquettes, the total weight of the aggregates used in the asphalt mixture was 1150 g, which was composed of the percentages obtained in the dosage by the trial and error method, the weight in grams of each component of the mixture. The conventional, modified and check asphalt mixes were designed using the Marshall method. The total void volume, creep, voids filled with asphalt, voids in mineral aggregate, and Marshall stiffness were determined for each case, determining the optimal values for asphalt cement and low-density polyethylene.

KEYWORDS

Marshall Method, Asphalt mixtures, Asphalt cement, Low-density polyethylene

INTRODUCCIÓN

Según datos de la Administradora Boliviana de Carreteras en el año 2008 la red fundamental de Bolivia cuenta con 16029 km, 4788 km son caminos pavimentados representando un 30 %, 6313 km de ripio un 39 % y 4928 km con superficie de rodadura de tierra 31 % del total.

Los pavimentos flexibles son ampliamente utilizados en la mayoría de los países a nivel mundial y Bolivia no es la excepción. Las mezclas asfálticas asumen un papel fundamental en los pavimentos flexibles no sólo por los volúmenes requeridos en su construcción, sino porque constituyen la parte más costosa de los mismos.

Una de las alternativas que se han aplicado en este campo es la modificación del pavimento asfáltico con polímeros, en este caso polietileno de baja densidad, que es de la familia de las olefinas, como el polipropileno; siendo su estructura de cadenas muy ramificadas. Estas características hacen que su densidad sea inferior en comparación con el polietileno de alta densidad y de escasa dureza, teniendo una elevada resistencia al impacto, a la elongación y al desgaste.

La mezcla asfáltica se define como una combinación de agregados minerales, ligados mediante la implementación de un cemento asfáltico, y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden envueltos por una capa uniforme de asfalto.

Se entiende por diseño de mezclas asfálticas al proceso de selección de los componentes que intervienen en ella de tal modo de lograr un balance deseado en sus propiedades.

La clasificación de mezclas asfálticas se realiza en función del tamaño de los agregados pétreos, el porcentaje de vacíos, la temperatura o la estructura de los agregados; cualquiera de estos parámetros es considerado base para establecer las diferencias. (PINCAY, ZUÑIGA, & CÓRDOVA, 2018).

Los asfaltos modificados son el producto de la disolución o incorporación de un aditivo modificador (polímero o no polímero), que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades como: menor susceptibilidad a la temperatura, mayor intervalo de plasticidad, mayor cohesión, mejor respuesta elástica, mayor resistencia al agua y al envejecimiento.

Es así como, los modificadores aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos como la fatiga; reducen el agrietamiento, la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de la temperatura. Estos modificadores son adicionados al asfalto antes de mezclarlos con el material pétreo. (COIQUE & SEPULVEDA, 2017)

DESARROLLO

Siguiendo el método Marshall se procede a realizar el diseño de la mezcla asfáltica convencional, con el fin de obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una mezcla de agregados establecida dentro de una de los tipos de faja granulométrica por el manual de especificaciones técnicas de la administradora boliviana de carreteras.

Se prepararon 15 briquetas, 3 por cada porcentaje, 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 y 7,0 % de cemento asfáltico.

La composición granulométrica de los agregados utilizados se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Porcentajes que pasan los diferentes tamices de los distintos agregados que componen la mezcla asfáltica.

TAMICES ASTM	% Que pasa				
	3/4"	1/2"	3/8"	Arena natural	Filler
1"	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	69,16	100,00	100,00	100,00	100,00
3/8"	38,82	50,43	100,00	100,00	100,00
Nº4	4,64	2,68	33,83	100,00	100,00
Nº8	0,24	0,19	0,50	99,94	77,99
Nº40	0,04	0,04	0,17	65,08	47,05
Nº200	0,00	0,00	0,00	1,19	7,93

De acuerdo con el tamaño máximo nominal, se escogió trabajar con la gradación C de la proporcionada por el manual de especificaciones técnicas generales de construcción de la ABC. Mediante el método de tanteos sucesivos se determinó el aporte de cada tipo de agregado en la mezcla: Agregado 3/4" 25 %, Agregado 1/2" 10 %, Agregado 3/8" 25 %, Arena natural 30 %, Filler 10 %.

Para la preparación de las briquetas, el peso total de los agregados utilizados en la mezcla asfáltica fue de 1150,00 g, el cual fue compuesto por los porcentajes obtenidos en la dosificación por el método de tanteos, el peso en gramos de cada componente de la mezcla: Agregado 3/4", 287,50; Agregado 1/2", 115,00; Agregado 3/8", 287,50; Arena, 345,00 y Filler 115,00.

Mezcla Asfáltica Convencional

El porcentaje de cemento asfáltico utilizado en la mezcla asfáltica va en intervalos de 0,5% desde 5 % a 7 % variando así el porcentaje de los agregados y permaneciendo invariable el peso total del agregado. Con los datos antes mencionados se determinó el peso de cemento asfáltico para cada briqueta. Para 5,0 % 60,53 g; 5,5 % 66,93 g; 6,0 % 73,43 g; 6,5 % 79,95 g y 7,0 % 86,56 g.

Se prepararon las muestras dosificadas para las 15 briquetas fueron colocadas en el horno a 165°C por 24 horas previo al mezclado con el cemento asfáltico ya que el manual de especificaciones técnicas indica que los agregados deben ser calentados de 10 a 15° C encima de la temperatura del cemento asfáltico el cual fue calentado a 155°C.

Las temperaturas utilizadas en el proceso de mezclado y compactación se determinaron de acuerdo a la ficha técnica proporcionada por la empresa "Petroperú", el cual nos da la carta de Viscosidad-Temperatura del cemento asfáltico, a la que podemos acudir con las viscosidades cinemáticas que el manual de especificaciones técnicas de la Administradora Boliviana de Carreteras establece que para el proceso de mezclado la viscosidad cinemática del cemento asfáltico debe estar situada entre los límites de 170 ± 20 cSt y para el proceso de compactación la viscosidad cinemática del cemento asfáltico presente una viscosidad de 280 ± 30 cSt. Se trabajó la mezcla con viscosidad cinemática 165 cSt, a 155 °C, Para la compactación 270 cSt, a 145 °C.

Se retiró del horno el agregado y el cemento asfáltico colocando el agregado en un recipiente amplio para poder realizar el mezclado e inmediatamente se añadió el porcentaje de cemento asfáltico correspondiente a cada briqueta.

De forma vigorosa se realizó el mezclado a una temperatura de 155 °C hasta que se vio una mezcla homogénea es decir el agregado completamente cubierto de cemento asfáltico.

Los moldes fueron compactados con 75 golpes a una temperatura de compactación de 145 °C, luego se retiró el compactador del molde ensamblado, se intercambian en el molde las posiciones de la base y el collar y se vuelve a colocar en el compactador automático con el mismo número de golpes a la otra cara de la probeta invertida.

En este punto se realizó la toma de los pesos en el aire y sumergidos para poder determinar la densidad real promedio y la densidad teórica de cada briqueta.

Las densidades reales promedio fueron: 5,0 %, 2,201 g/cm³; 5,5 %, 2,201 g/cm³; 6,0 %, 2,224 g/cm³; 6,5 %, 2,218 g/cm³ y 7,0 %, 2,209 g/cm³.

Con el valor de las densidades se obtuvo el porcentaje de volumen de vacíos total, Vv, el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VAM, y el porcentaje de vacíos llenos de asfalto, RVB, para cada porcentaje de asfalto que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Porcentajes de vacíos en briquetas con diferentes porcentajes de asfalto.

% de asfalto	% de vacíos		
	Volumen de vacíos total, %	Vacíos en el agregado mineral, %	Vacíos llenos de asfalto, %
5,00	6,36	17,35	63,32
5,50	5,10	17,26	70,43
6,00	4,04	17,36	76,72
6,50	3,62	18,02	79,88
7,00	3,39	18,82	81,99

Se determinó el promedio de alturas obteniendo tres medidas de diferentes lados de cada briqueta. Siendo la altura promedio de 6,67 cm.

Para determinar la estabilidad y fluencia en la prensa de rotura Marshall se colocó las briquetas en baño maría a una temperatura de 60 °C por 30 minutos, cada una fue colocada en diferentes intervalos de tiempo, para que cada una esté en la temperatura adecuada al momento de la rotura.

Las estabilidades se obtuvieron con los datos arrojados por la prensa de rotura Marshall, lectura dial en kgf y la carga en libras la cual fue multiplicada por el factor de corrección seleccionado de acuerdo a las alturas de las briquetas.

De igual manera las fluencias se obtuvieron con los datos arrojados por la prensa de rotura Marshall en 1/100".

Para la gravedad específica de los agregados se realizó un promedio entre los valores determinados en los ensayos de peso específico del agregado fino, 2,65 g/cm³ y peso específico de agregado grueso, 2,41 g/cm³. El promedio del peso específico determinado fue 2.53 g/cm³.

Tabla 3. Diseño Marshall para la mezcla asfáltica.

% asfalto	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00
Estabilidad, lb	3204,6	3851,5	4079,2	3674,2	3166,8
Peso unitario, g	2,201	2,215	2,224	2,218	2,209
Volumen de vacíos total, %	6,36	5,10	4,04	3,62	3,39
Fluencia (1/100")	9	11	11	12	13
Vacíos llenos de asfalto, %	63,32	70,43	76,72	79,88	81,99
Vacíos en el agregado mineral, %	17,35	17,26	17,36	18,02	18,82
Rigidez Marshall	343,35	361,08	370,84	297,91	237,51

Con el promedio de la estabilidad, densidad y porcentaje de vacíos se determinó el porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 6,05 %.

Mezcla Asfáltica Convencional Modificado

El contenido de polietileno de baja densidad para la mezcla asfáltica fue desde 0,5% con incrementos de 0,5% hasta un 2,5% habiendo realizado 3 briquetas por cada porcentaje por lo tanto se realizaron 15 briquetas

La dosificación de agregados utilizada fue la misma que la mezcla convencional y cumpliendo los requisitos de gradación.

Para la preparación de las briquetas el peso total de los agregados utilizado en la mezcla asfáltica modificada con polietileno de baja densidad fue de 1150,00 g, el cual fue compuesto por los porcentajes de dosificación al igual que en la mezcla asfáltica convencional Este peso de agregados es invariable en la mezcla asfáltica.

El porcentaje de polietileno de baja densidad para la mezcla asfáltica modificada van en incrementos de 0,5% de 0,5% hasta 2,5% con respecto al porcentaje óptimo de cemento asfáltico 6,05% obtenido en el diseño Marshall de la mezcla asfáltica convencional, por lo que el porcentaje de cemento asfáltico para cada porcentaje de PEBD también fue variando.

Tabla 4. Pesos del cemento asfáltico y polietileno de baja densidad para una concentración optima de 6,05 % y la peso 1224.06 g.

polietileno de baja densidad, %	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
polietileno de baja densidad respecto al optimo, %	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15
cemento asfáltico, %	6,02	5,99	5,96	5,93	5,90
Peso polietileno de baja densidad, g	0,37	0,74	1,11	1,48	1,85
Peso cemento asfáltico, g	73,69	73,31	72,94	72,57	72,20

Las muestras dosificadas fueron preparadas para las 15 briquetas y fueron colocadas en el horno a una temperatura de 165 °C por 24 horas previo al mezclado con el cemento asfáltico y polietileno de baja densidad.

Se calentó el cemento asfáltico en el horno a una temperatura de 155 °C por 24 horas previo al mezclado y el polietileno de baja densidad a una temperatura de 180 °C por 48 horas previo al mezclado en un vaso precipitado.

Las temperaturas de mezclado y compactación empleadas en el diseño Marshall de la mezcla asfáltica modificada con PEBD fueron las mismas utilizadas en el diseño Marshall convencional. Se obtuvieron los pesos en el aire y sumergidos la densidad real promedio y la densidad teórica de cada briqueta.

El promedio del peso específico determinado fue 2.229 g/cm³. Con el valor de las densidades se obtuvieron: el porcentaje de volumen de vacíos total, el porcentaje de vacíos en el agregado mineral y el porcentaje de vacíos llenos de asfalto para cada porcentaje de cemento asfáltico modificado con polietileno de baja densidad.

Tabla 5. Porcentajes de vacíos en briquetas con diferentes porcentajes de asfalto modificada.

% de asfalto	Volumen de vacíos total, %	% de vacíos	
		Vacíos en el agregado mineral, %	Vacíos llenos de asfalto, %
5,90	3,97	17,09	76,77
5,93	3,93	17,12	77,04
5,96	3,92	17,17	77,18
5,99	3,88	17,20	77,44
6,02	3,82	17,21	77,81

El promedio de altura para las briquetas fue de 6,69 cm. De igual forma que la rotura Marshall convencional se toman las lecturas en la prensa de rotura Marshall.

Tabla 6. Diseño Marshall para la mezcla asfáltica modificada.

	5,90	5,93	5,96	5,99	6,02
%asfalto	5,90	5,93	5,96	5,99	6,02
%polietileno de baja densidad	2,50	2,00	1,50	1,00	0,50
Estabilidad, lb	4869,71	4898,69	4608,14	4330,16	3880,85
Peso unitario, g	2,229	2,229	2,228	2,228	2,229
Volumen de vacíos total, %	3,97	3,93	3,92	3,88	3,82
Fluencia (1/100")	13,67	12,33	12,00	11,67	10,67
Vacíos llenos de asfalto, %	76,77	77,04	77,18	77,44	77,81
Vacíos en el agregado mineral, %	17,09	17,12	17,17	17,20	17,21
Rigidez Marshall	356,32	397,19	384,01	371,16	363,83

Mediante el promedio de estabilidad, densidad y porcentaje de vacíos nos resultó un porcentaje óptimo de 5,93% de cemento asfáltico, sin embargo, debido a un análisis de los parámetros de la mezcla se vio por conveniente adoptar un porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 5,91%.

El porcentaje óptimo obtenido del diseño de la mezcla asfáltica modificada con polietileno de baja densidad es de 5,91% y el porcentaje óptimo obtenido del diseño de mezcla asfáltica convencional es de 6,05%, la diferencia entre dichos porcentajes es de 0,14%, que con respecto al porcentaje óptimo de cemento asfáltico convencional el 2,30% de PEBD es el que nos arroja mejores características en la mezcla asfáltica.

Mezcla asfáltica modificada de verificación con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico y polietileno de baja densidad

TABLA 7. Pesos de los diferentes componentes para las briquetas.

cemento asfáltico, %	5,91
polietileno de baja densidad, %	0,14
Agregado, %	93,95
Peso briqueta (agregados), g	1150
Peso briqueta (agregado+ cemento asfáltico + polietileno de baja densidad), g	1224,06
Peso cemento asfáltico + polietileno de baja densidad, g	74,06
Peso cemento asfáltico, g	72,34
Peso polietileno de baja densidad, g	1,71

Tabla 8 diseño Marshall para la mezcla asfáltica modificada de verificación

Estabilidad, lb	4856,5
DENSIDAD, g/cm ³	2,228
Volumen de vacíos total, %	4,02
Fluencia (1/100")	13,00
Vacíos llenos de asfalto, %	76,57
Vacíos en el agregado mineral, %	17,16
Rigidez Marshall	356,32

Tabla 9. Resumen de resultados mezcla asfáltica convencional con 6,05 % de cemento y mezcla asfáltica modificada con 5,91 % de cemento asfáltico y 0,14 % polietileno de baja densidad.

	CARACT	CONVEN	MODIFICADO CON PEBD	ESPECIF
Estabilidad, lb	4020,00	4900,00	>1500 lb	
Densidad, g/cm ³	2,223	2,229	--	
Fluencia (1/100")	4,05	3,98	3-5	
Vacíos llenos de asfalto, %	11,38	13,20	8-18	
Vacíos en el agregado mineral, %	76,81	76,80	75-82	
Fluencia (1/100")	17,47	17,10	>14%	

CARACT = Características; CONVEN = Convencional
ESPECIF = Especificaciones

DISCUSIÓN

Se realizó el análisis técnico a los resultados obtenidos en el diseño de mezclas asfálticas haciendo un análisis de las características de la mezcla asfáltica convencional y de la mezcla asfáltica modificada con polietileno de baja densidad, verificando que el contenido de cemento asfáltico cumpla con los parámetros establecidos por la normativa vigente.

Estabilidad Marshall convencional v/s estabilidad Marshall modificada

La estabilidad Marshall, la estabilidad máxima antes que la mezcla asfáltica convencional llegue a fallar fue de 4020,00 lb con un porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 6,05 %.

En cuanto a la estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica modificada con polietileno de baja densidad, PEBD, la figura 1 muestra los resultados para los diferentes porcentajes de adición de PEBD a la mezcla, como se puede apreciar la curva la estabilidad va en aumento a mayores porcentajes de PEBD desde 0,50 % a 2,00 % mostrando falla a 2,50 %, por lo que la estabilidad máxima para la mezcla asfáltica modificada con PEBD fue de 4900,00 lb a un 2,30 % de PEBD.

Dichos valores de estabilidad máxima obtenidos se encuentran por encima del límite mínimo de 1500 lb establecidas por el manual de especificaciones técnicas de la Administradora Boliviana de Carreteras.

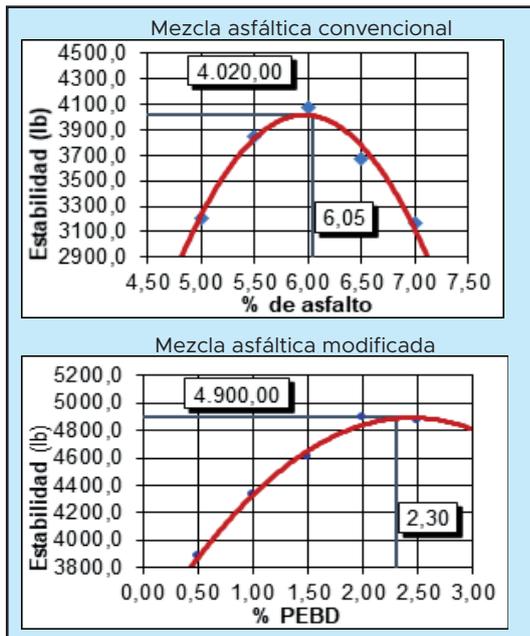


Figura 1: Comparación estabilidad de las mezclas asfálticas

Como se aprecia en la figura 2 la mezcla asfáltica modificada presenta un mayor valor a la mezcla asfáltica convencional esto quiere decir que la adición de PEBD aumenta su capacidad para resistir desplazamientos y deformaciones bajo cargas impuestas por el tránsito.

La fluencia obtenida en la mezcla asfáltica convencional fue de 11,38 (1/100") a 6,05 % de CA en cuanto a la mezcla asfáltica modificada con polietileno de baja densidad se puede ver que el flujo de igual forma en presencia de mayores porcentajes de PEBD y menores porcentajes de CA en la mezcla asfáltica va en aumento por lo que hace de la mezcla más flexible dando un valor de 13,20 (1/100") a una adición de 2,30 % de PEBD.

Los valores de flujo obtenidos en ambas mezclas a los porcentajes óptimos se encuentran dentro del rango (8-16) 1/100" establecido

por el Manual de Especificaciones Técnicas de la Administradora Boliviana de Carreteras.

La diferencia de flujo entre ambas mezclas, presentando mayor flujo la mezcla asfáltica modificada, esto quiere decir que el PEBD le da mayor deformabilidad a la mezcla haciéndola más flexible pero no afectando así a su resistencia a la deformación, ya que su aumento va acompañado al aumento de estabilidad.

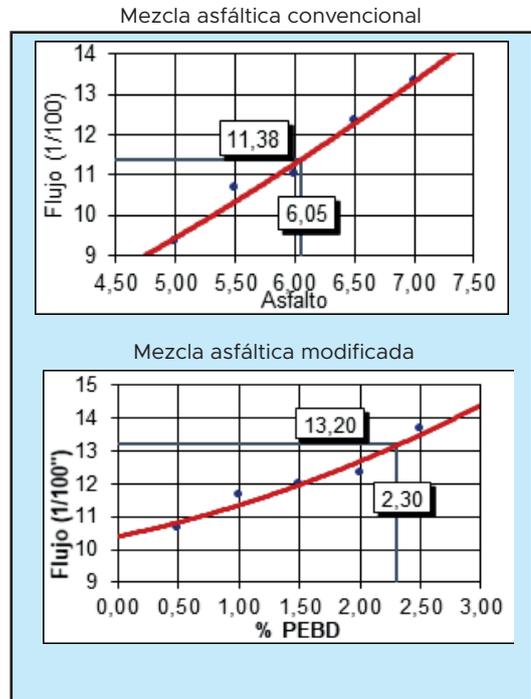


Figura 2: Comparación flujo (1/100") de las mezclas asfálticas

Rigidez Marshall mezcla asfáltica convencional v/s mezcla asfáltica modificada.

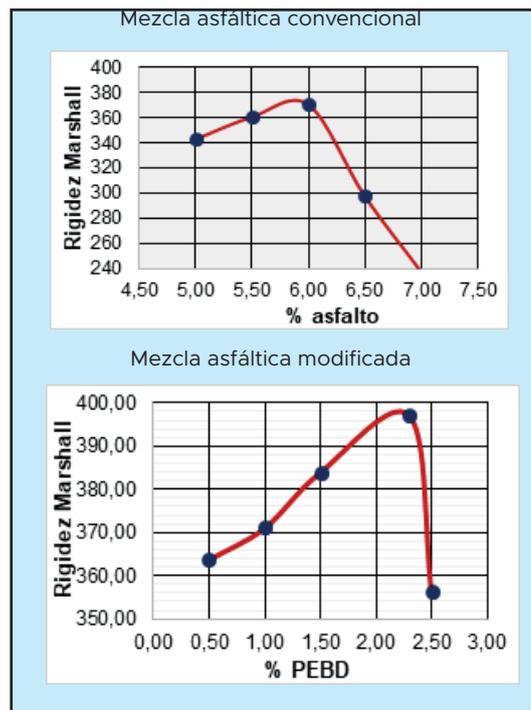


Figura 3: Comparación rigidez Marshall de las mezclas asfálticas

Más allá de la estabilidad y el flujo Marshall, la rigidez Marshall cociente de dichas variables, puede proporcionar más información. Una mayor rigidez Marshall es evidencia de un mejor rendimiento, con valores elevados de estabilidad y menores valores de flujo. En el presente trabajo, se alcanzó una máxima rigidez Marshall de 397,19 (lb/100") con la adición de un 2,30% de PEBD, agregar porcentajes más altos de PEBD, como 2,50% nos proporciona una rigidez Marshall reducida, que se asocia con menor estabilidad y mayores valores de flujo. Dicha rigidez Marshall de la mezcla modificada es mayor a la máxima rigidez Marshall obtenida de la mezcla asfáltica convencional que nos dio un valor de 370,84 (lb/100") a 6,05% de CA. se aprecia la diferencia de rigidez de ambas mezclas, una mayor rigidez podría expresarnos que la mezcla no tendrá mayor deformación, sin embargo, los incrementos de estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica modificada van acompañados, por lo que la adición de PEBD en la mezcla asfáltica nos arroja un mejor rendimiento que la mezcla asfáltica convencional.

Porcentaje de vacíos totales mezcla asfáltica convencional v/s mezcla asfáltica modificada.

El porcentaje de vacíos totales en la mezcla asfáltica convencional como se muestra en la figura 4 va de forma descendente a mayores porcentajes de CA debido a que este llega a ocupar los espacios vacíos formados por las diferentes partículas de la composición de agregados, dicha mezcla a un porcentaje óptimo de 6,05% de CA da un porcentaje de vacíos totales de 4,05%. En cuanto al porcentaje de vacíos totales de la mezcla asfáltica modificada con polietileno de baja densidad, podemos ver que a diferentes porcentajes de adición de PEBD este se mantiene casi constante, debido a que estos porcentajes van con respecto al porcentaje óptimo de CA de 6,05%, es decir van variando los porcentajes de CA de acuerdo al aumento de PEBD dentro de ese porcentaje, por lo que comprobamos que el CA y el PEBD llegan a mezclarse de forma homogénea por consecuencia ocupan el mismo espacio que el diseño óptimo con cemento asfáltico convencional. Dando un porcentaje de vacíos totales de 3,98% a 2,30% de PEBD.

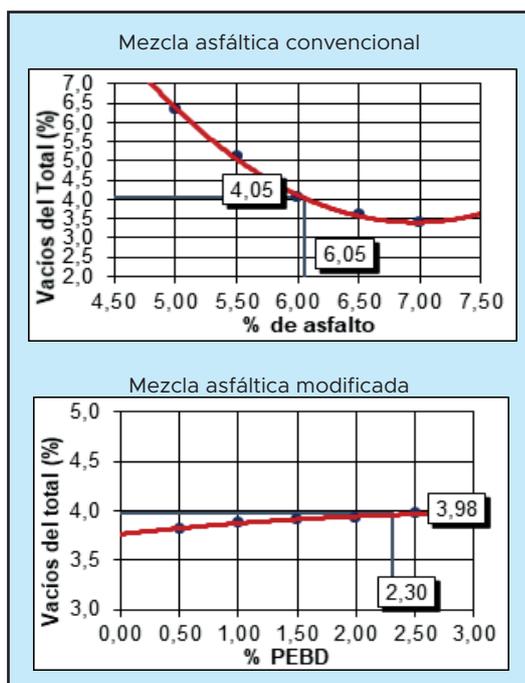


Figura 4: Comparación de porcentaje de vacíos totales de las mezclas asfálticas

Los porcentajes de vacíos totales están dentro del rango especificado por el Manual de Especificaciones Técnicas de la Administradora Boliviana de Carreteras entre (3-5) se aprecia que ambos valores oscilan alrededor del 4,00 % de vacíos del total, por lo que se encuentran a un intermedio y no al límite de un 3,00 % que pueda ocurrir un menor espacio de aire en el que se puede producir exudación de asfalto; una condición donde el asfalto es exprimido fuera de la mezcla asfáltica o estar a límite de 5% donde puede ingresar en el agua y el aire causando deterioro y deformación debido a una compactación secundaria por el tránsito.

Vacíos en el Agregado Mineral mezcla asfáltica convencional v/s mezcla asfáltica modificada.

El porcentaje de vacíos en el agregado mineral muestra el volumen de vacíos entre agregados en la mezcla asfáltica compactada, el valor aceptable para mezclas asfálticas según el manual de especificaciones técnicas de la administradora boliviana de carreteras es un mínimo de 14 %. Este valor representa que cuando mayor sea el V.A.M. más espacio habrá disponible para las películas de asfalto, este valor se basa en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla. En la mezcla asfáltica convencional podemos ver que el V.A.M. para un 6,05 % de CA es de 17,47 %. En cuanto al porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica modificada con polietileno de baja densidad, el V.A.M. para los diferentes porcentajes de PEBD oscila entre 17,00 y 17,30 %, para 2,30 % de PEBD el V.A.M. es de 17,10 % siendo cercano al obtenido en la mezcla asfáltica convencional.

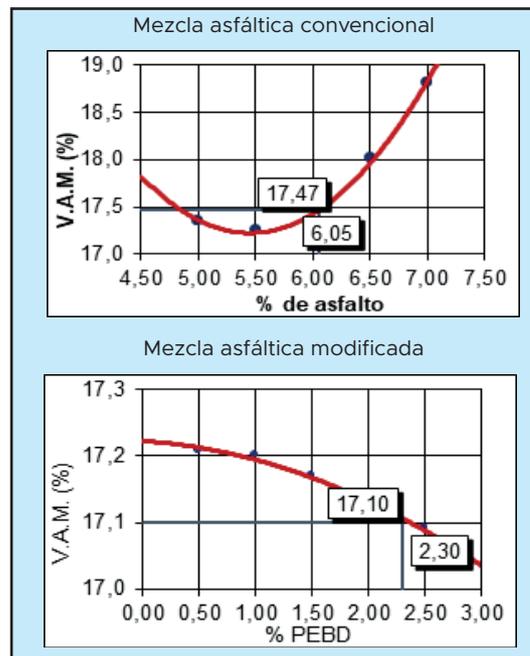


Figura 5: Comparación Vacíos en el Agregado Mineral de las mezclas asfálticas

Vacíos Llenos de Asfalto mezcla asfáltica convencional v/s mezcla asfáltica modificada.

Los valores obtenidos en la relación betún vacíos indican que debe adicionarse suficiente cemento asfáltico para compensar la absorción y recubrir las partículas con un espesor adecuado de asfalto. En la figura 6 mostramos que a mayores porcentajes de CA la relación betún vacíos aumenta, para la mezcla asfáltica convencional el R.B.V. para 6,05 % de CA es de 76,81 % y para la mezcla asfáltica modificada con polietileno de baja densidad

el R.V.B es de 76,80 % a un porcentaje de adición de PEBD de 2,30 %. Ambos valores obtenidos de R.B.V. se encuentra dentro del rango de (75-82) % especificado por el manual de especificaciones técnicas de la Administradora Boliviana de Carreteras.

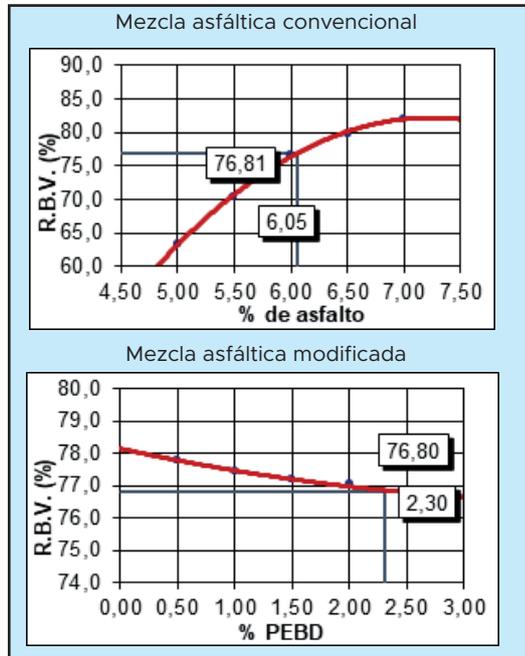


Figura 6: Comparación vacíos llenos de asfalto (%) de las mezclas asfálticas.

Densidad mezcla asfáltica convencional v/s mezcla asfáltica modificada

Los valores obtenidos de densidad de las mezclas mostrados en la figura 7 sirven como referencia para la compactación de la mezcla asfáltica en obra, dichas densidad teniendo relación directa con el volumen de vacíos, la densidad para la mezcla asfáltica convencional fue de 2,223 g/cm³ para un porcentaje de CA de 6,05 %, para la mezcla asfáltica modificada las densidades oscilan entre 2,227 y 2,230 g/cm³ resultando 2,229 g/cm³ a una adición de PEBD de 2,30 %.

Se realizó el diseño de las dos mezclas; una mezcla convencional y otra mezcla modificada con polietileno de baja densidad. Para

ambas mezclas se utilizó una dosificación de grava de 3/4" 25%, grava de 1/2" 10 %, grava 3/8" 25 %, arena natural 30 % y filler 10 %.

El porcentaje óptimo obtenido en la mezcla asfáltica convencional fue de 6,05% dándonos un valor máximo de estabilidad de 4.020,00 lb, una fluencia de 11 (1/100"), una rigidez Marshall de 370,84 lb/mm y un porcentaje de vacíos totales de 4,05 %.

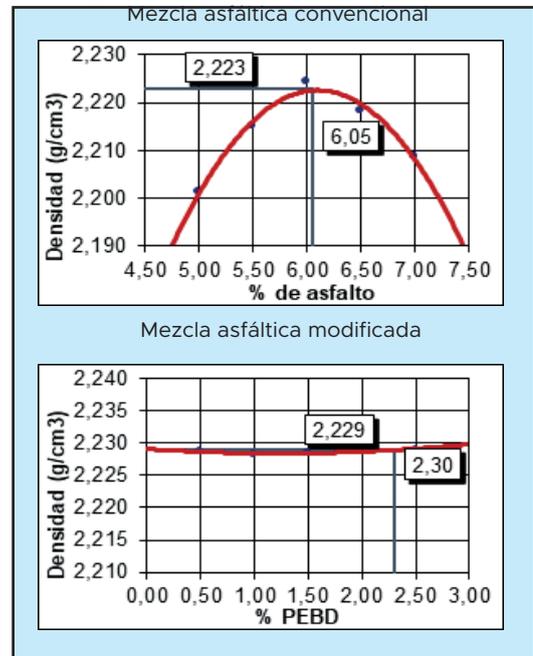


Figura 7: Comparación densidad de las mezclas asfálticas (g/cm³).

Para la mezcla asfáltica modificada se trabajó teniendo como base el porcentaje óptimo de cemento asfáltico determinado en el diseño de la mezcla convencional 6,05%, respecto a este porcentaje se fue haciendo variaciones de polietileno de baja densidad, obteniendo valor máximo de estabilidad de 4900,00 lb en la adición de 2,30 % de PEBD con una fluencia de 13,20 (1/100"), una rigidez Marshall de 397,19 lb/mm y un porcentaje de vacíos totales de 3,98 %.

La estabilidad en la mezcla asfáltica convencional tuvo un aumento de 21,89 % con la adición de 2,30 % de PEBD y aumento un 7,11 % su flexibilidad reflejada en el flujo.

La rigidez Marshall tuvo un mejor rendimiento con la adición de PEBD con un aumento de 20,00 % a la mezcla asfáltica convencional.

REFERENCIAS

Administradora Boliviana de Carreteras. (2011). Manual de ensayos de suelos y materiales * asfaltos. Bolivia.

Administradora Boliviana de Carreteras. (2011). Manual de especificaciones técnicas generales de construcción. Bolivia.

ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, A. (2008). Clases de carreteras y condiciones de superficie. Obtenido de <https://dlca.logcluster.org/display/public/DLCA/2.3+Bolivia+Red+de+Carreteras>

ALBORNOZ, Y. (2014). Cemento asfáltico. Obtenido de <https://pavimentosulacivil.files.wordpress.com/2018/01/cemento-asfaltico.pdf>

CASTANEDA, A., ESCOBAR, G., & LÓPEZ, L. (2011). Aplicación del método Marsahl y granulometría superpave en el diseño de mezcla asfáltica templada con emulsión asfáltica. Obtenido de http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2079/1/Aplicacion_del_metodo_marshall_y_granulometria_superpave_en_el_dise%C3%B1o_de_mezcla_asfaltica_templada_con_emulsion_asfaltica.pdf

COIQUE, L., & SEPULVEDA, C. (2017). PEBD como alternativa para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15277/1/POLIETILENO%20DE%20BAJA%20DENSIDAD%20COMO%20ALTERNATIVA%20PARA%20MEJORAR%20LAS%20PROPIEDADES%20MECANICAS%20DE%20UNA%20MEZCLA%20Densa%20EN%20CALIENTE%20MDC-19.pdf>

DE LA FUENTE, A. (2007). Diseño de una mezcla asfáltica de alto rendimiento para baches superficiales y profundos. Obtenido de http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/de_la_fuente/

Instituto del Asfalto. (1992). Manual del Asfalto.

INSTITUTO DEL ASFALTO. (1992). Manual del Asfalto.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, I. (2002). Normas de Ensayo de Materiales para carreteras del Instituto Nacional de Vías. Bogotá.

PINCAJ, J., ZUÑIGA, A., & CORDOVA, F. (2018). Análisis comparativo entre la aplicación de Metodología RAMCODES y el método Marshall como alternativa para la obtención del contenido óptimo de asfalto para el diseño de mezclas asfálticas. Obtenido de http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/203/1/Libro%205_corregido.pdf

REYES, F., & FIGUEROA, S. (2008). Uso de desechos plásticos en mezclas asfálticas. Obtenido de <https://books.google.com>.

CITA

