

Comportamiento de la mezcla asfáltica modificada mediante la adición de polietileno de baja densidad

Resumen



Wenceslao Garro Espinoza 

wgarroe@unasam.edu.pe

Elio Milla Vergara 

emillav@unasam.edu.pe

Alfredo Huaman Livia 

ahuamanl@unasam.edu.pe

Daylu Pagola Ávila 

dpagolaa@unasam.edu.pe

El objetivo de la presente investigación fue contribuir y mejorar el comportamiento físico y mecánico de las mezclas asfálticas en caliente (MAC) mediante la modificación del cemento asfáltico (CA) al adicionarle polietileno de baja densidad (PEBD). Esto contribuye a mejorar la calidad de las mezclas asfálticas, respaldados por los parámetros que ofrece el ensayo Marshall. El método tiene un enfoque cuantitativo, diseño transversal debido a que se analizó el problema en su situación presente. Es experimental porque manipula las variables independientes. Es deductivo ya que parte de una caracterización general, de tipo descriptivo y explicativo. Los instrumentos utilizados son fichas de recolección de datos y formatos de laboratorio. Las fuentes utilizadas son el MTC, artículo científico, tesis, libros. Los resultados obtenidos de la mezcla asfáltica en caliente modificada (MACM) con respecto a la mezcla asfáltica en caliente (MACC) fueron: densidad 2 %, vacíos 15 %, el V.M.A -8 %, Vacíos Llenos del CA -7 %, Flujo en 6 % y Estabilidad 16 %. Se concluye que la adición de PEBD aporta de manera significativa en la mejora de la calidad de la MACC.

Palabras clave: Polietileno de baja densidad; Mezcla asfáltica modificada; Mezcla asfáltica convencional; Cemento asfáltico.

“**Cómo citar este artículo:** Comportamiento de la mezcla asfáltica modificada mediante la adición de polietileno de baja densidad. (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1292>.”



Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz - Perú.

Recibido: 2025-08-29 | Aceptado: 2025-11-12



Behavior of the asphalt mixture modified through the addition of low-density polyethylene

The objective of this research is to contribute and improve the physical and mechanical behavior of hot mix asphalt (HCM) by modifying the asphalt cement (AC) by adding low-density polyethylene (LDPE), this contributes to improving the quality of asphalt mixtures, supported by the parameters offered by the Marshall test. The method has a quantitative approach, cross-sectional design because the problem was analyzed in its present situation, it is experimental because it manipulates the independent variables, it is deductive since it will start from a general characterization, descriptive and explanatory. The instruments used are data collection sheets, laboratory formats. The sources used are the MTC, scientific article, thesis, books. The results obtained from the modified hot mix asphalt (MACM) with respect to the hot mix asphalt (MACC) were: density 2 %, voids 15 %, V.M.A -8 %, Full Voids of CA -7 %, Flow at 6 % and Stability 16 %. Finally, it is concluded that by adding LDPE, it contributes significantly to improving the quality of the MACC.

Keywords: Low-density polyethylene, Modified asphalt mixture, Conventional asphalt mixture, Asphalt cement.

Introducción

El propósito de la presente investigación es que sus propiedades tanto físicas como mecánicas de la MAC obtengan un mejor comportamiento mediante la incorporación del polietileno de baja densidad (PEBD) al cemento asfáltico (CA) PEN 85/100 (mediante la técnica vía húmeda) proveniente del reciclaje, con la intención de brindarle una mejor resistencia y mayor durabilidad a la carpeta asfáltica del pavimento flexible ante el deterioro prematuro que sufre actualmente la carpeta asfáltica. En la actualidad,

la demanda de obtener pavimentos de mejor calidad, capaces de soportar esfuerzos, ha llevado al desarrollo de tecnologías nuevas de mezclas asfálticas conteniendo productos reciclados y/o químicos con el fin de obtener pavimentos con mejor comportamiento estructural frente al aumento de volumen vehicular y agresivos cambios climáticos y de esta manera aumentar su vida útil. Bajo estas condiciones, se propone una mezcla asfáltica modificada.

Contreras Vizcarra y Zuñiga Pinillos (2020) utilizaron diferentes tipos, porcentajes y tamaños de partículas de plásticos agregados a las mezclas para comparar las dos mezclas y analizar el grado de mejora que se consigue con la adición de plásticos, utilizando plásticos en mezclas asfálticas modificadas como aditivo a ligantes asfálticos. Consiguieron el mejoramiento de sus características tales como, la relación de vacíos, la estabilidad y el flujo, destacando que la propiedad mecánica de la Estabilidad es la más beneficiada con la adición de plásticos al asfalto.

Según Suaryana (2018), Indonesia es el segundo país más grande en contribuir con desechos marinos plásticos en el mundo. Por otro lado, Indonesia enfrenta problemas de pavimento debido a varias razones, por lo que su calidad necesita ser mejorada, así como el rendimiento del pavimento. La incorporación de residuos plásticos a la MAC en realidad tiene un efecto beneficioso para el mejoramiento de la calidad del pavimento. El uso de restos de plásticos utilizados en la construcción de pavimentos y carreteras se lleva a cabo incorporando los residuos plásticos a la MAC como aditivo con procesos de mezcla húmeda o seca. La finalidad de este trabajo fue la de investigar el desempeño en laboratorio de la MAC utilizando la adición o incorporación de los residuos plásticos y su efecto sobre la sensibilidad a la humedad, la resistencia ante las deformaciones y la duración ante la fatiga de la MAC. La adición de desechos plásticos en la MAC aumentará la Estabilidad Marshall y el módulo resiliente de la

mezcla mejorará la resistencia al desprendimiento, la susceptibilidad a la humedad y también la resistencia (estabilidad) a las formaciones de surcos. Hasta cierto contenido de plástico, la adición de residuos plásticos mejorará la vida útil, la fatiga y la resistencia al deshilachado de la MAC. Por el contrario, la adición excesiva de residuos plásticos disminuirá la vida útil a la fatiga y la resistencia al deshilachado en función a la MACC. La aplicación de campo es muy similar a la MAC convencional, excepto que requiere tiempo adicional durante el proceso de mezcla seca en la planta de producción.

Considerando el aumento significativo del volumen de tráfico, con vehículos de alta capacidad de carga y las condiciones climáticas del Perú, se debe adquirir experiencias que permitan incorporar nuevas tecnologías de la MAC. Por ello se pretende encontrar aquella forma de modificar las propiedades físicas y mecánicas de la carpeta asfáltica, lo que se logra mediante la adición del PEBD. Junto al problema del deterioro prematuro de los pavimentos, se encuentra la disposición inadecuada de los residuos sólidos como el plástico, el caucho y demás desechos. Estos residuos son difíciles de darle un tratamiento final, además de poseer el impacto ambiental negativo por su mal uso. Estos son abundantes en el Perú y no se ha definido un método adecuado para su posterior reutilización.

El objetivo de la presente investigación es contribuir y mejorar el comportamiento físico y mecánico de las mezclas asfálticas en caliente (MAC) mediante la modificación del cemento asfáltico (CA) al adicionarle polietileno de baja densidad (PEBD). Esto contribuye a mejorar la calidad de las mezclas asfálticas, respaldados por los parámetros que ofrece el ensayo Marshall.

Materiales y métodos

Por su naturaleza, los datos tienen un enfoque cuantitativo y un diseño transversal, debido a que se analizó el problema en su situación presente. Es experimental porque manipulamos las variables independientes que afectan a las dependientes y es deductivo porque parte de una caracterización general de los requerimientos de los resultados referidos a la modificación de cemento asfáltico adicionando el PEBD y su contribución en la mejora de la calidad de la mezcla asfáltica en caliente convencional. La investigación que se desarrolló es de tipo descriptivo porque describió el comportamiento de la MAC con la adición del PEBD en diferentes porcentajes contenidos en la mezcla asfáltica. Es explicativa porque detalla los efectos de adición del PEBD para otorgarle una mayor durabilidad a la carpeta asfáltica del pavimento flexible. El nivel de la investigación es descriptivo ya que su finalidad es describir parámetros de la variación respecto a la dosificación de cemento asfáltico convencional y el PEBD.

La población del estudio está compuesta por los especímenes de MAC y la muestra está constituida por 18 especímenes de MACC y 24 especímenes de MACM, tal como se aprecia en la Figura 1. La muestra elegida ha sido del tipo no probabilístico, intencionado.

Se empleó la técnica de la observación por medio de la investigación experimental. Los datos se recolectaron mediante tablas y formatos para la data de los ensayos de laboratorio.

Figura 1

Registro de valores de los especímenes de la MACC y MACM



En base al Manual de Carretas (MTC) que establece los parámetros a cumplir para los pavimentos flexibles, se realizó el muestreo de los agregados de la cantera de Recuay, la compra de CA PEN 85/100, cal y recolección de PEBD, tal como se aprecia en la Figura 2. Posteriormente, se elaboró en laboratorio 3 especímenes por muestra y se obtuvo un total de 24 especímenes para 6 muestras de la MACM (Tabla 1).

Figura 2

Entrega y recepción de los materiales para la elaboración de la MACC y MACM



Tabla 1

Muestras y porcentaje de PEBD (Polietileno de Baja Densidad) para mezclas asfálticas modificada

Muestras y porcentajes de PEBD para elaboración de MACM								
Muestras (8)	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'
% de asfalto para c/m, incluido PEBD	6.0 %	6.0 %	6.0 %	6.0 %	6.0 %	6.0 %	6.0 %	6.0 %
% de Polietileno de Baja Densidad	1.0 %	1.5 %	2.0 %	3.0 %	5.0 %	7.0 %	9.0 %	12.0 %
Cantidad de especímenes	3	3	3	3	3	3	3	3
Total de especímenes	24							

Resultados

Para determinar el óptimo contenido del CA PEN 85/100 en la MAC, se consideró como punto de partida los resultados obtenidos en el laboratorio. Se analizaron los valores y curvas de cada parámetro Marshall, marcando y delimitando los valores mínimos y máximos admisibles para la mezcla asfáltica que se realizó. Estos valores están establecidos en el MTC (EG-2013), sección 423.

- El contenido de Vacíos permitido para determinar el óptimo contenido de CA es de 3 a 5, establecido en el MTC, EG-2013, sección 423. Esta gráfica de curva va limitando el óptimo contenido de CA. Es así que ahora el contenido del ligante se encuentra entre 5,5 % y 7,0 %. En esta gráfica se determina el contenido de CA del 6 % y la intersección con la curva se da en 4,1 % de vacíos en la mezcla.
- Se verificó que toda la curva de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA) se encuentre por encima del 14 %, valor que cumple con lo establecido en el MTC, EG-2013, sección 423. Para esta gráfica de curva todos los porcentajes de cemento asfáltico cumplen.
- Posteriormente, se comprobó el valor de la estabilidad para el óptimo contenido del CA que se seleccionó previamente con el análisis del % de vacíos en la mezcla, según el MTC (EG-2013). La estabilidad para esta mezcla debe ser superior a 5.44 kN, lo cual cumple con este requerimiento.
- De igual manera, se comprobó el flujo para los contenidos de cemento asfáltico elegido. En este caso, la deformación según el MTC, EG-2013, sección 423, nos indica que el valor del flujo debe estar situado entre un valor mínimo de 8 y máximo 16, lo cual, de acuerdo a la curva nos limita a determinar que el contenido óptimo de CA para esta mezcla es del 6 %.

Tabla 2

Resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la MACC

Resultados de los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica convencional con adición de porcentajes de cemento asfáltico								Especificaciones Técnicas de control MTC EG-2013
C.A.	%	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	-
Densidad	(g/cm ³)	2.196	2.231	2.25	2.239	2.252	2.251	Máximo
Vacíos	%	6.50	5.60	4.70	4.10	3.70	3.10	3.00 - 5.00
V.M.A.	%	19.30	18.50	18.40	19.00	19.00	19.50	Mínimo 14
Vacíos llenos C.A.	%	66.50	69.60	74.30	78.20	80.70	84.30	65 - 78
Flujo (0.01")	(0.25mm)	15.30	15.40	14.50	14.20	18.20	25.00	8 - 16
Estabilidad	(KN)	16.80	17.10	18.00	14.90	12.90	9.50	Mínimo 5.44 KN
Estabilidad/flujo	(kg/cm)	4524.36	4598.33	5055.70	4285.60	2914.71	1578.61	1700 - 4000

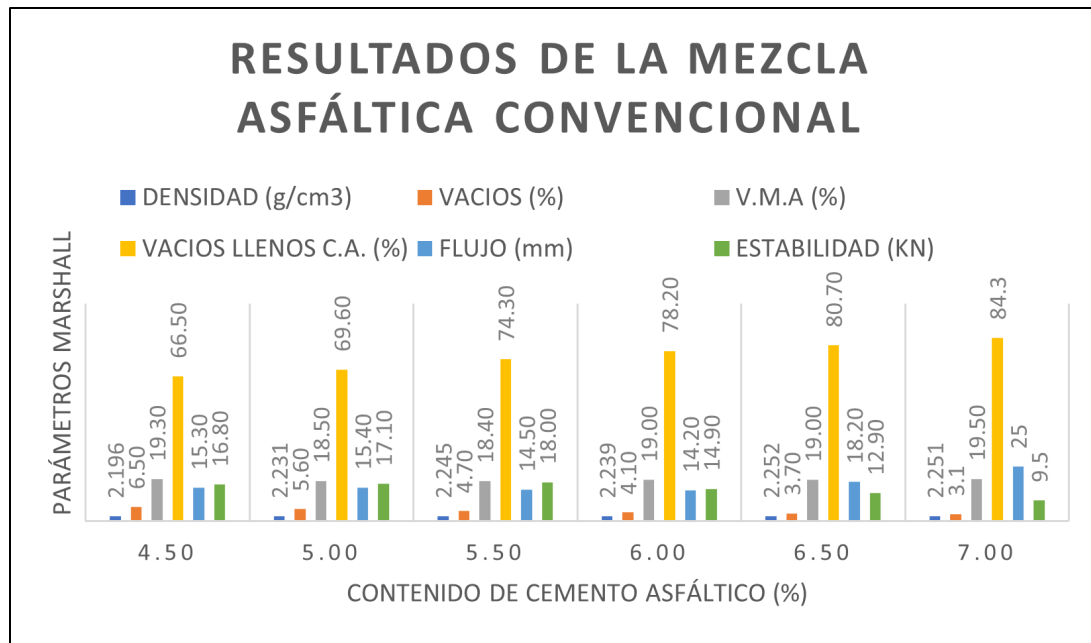
La Tabla 2 muestra el resumen de los resultados obtenidos de los parámetros Marshall con todos los porcentajes de contenido de CA presente en las MAC, determinando que el óptimo contenido de CA con el que cumple los requisitos para la producción de la MACM según el MTC, EG-2013 es el de 6,00 %.

En la Figura 3, se observa la gráfica de barras de los seis valores obtenidos con contenido

de CA en porcentajes de 4,50 %, 5,00 %, 5,50 %, 6,00 %, 6,50 % y 7,00 % para establecer el óptimo contenido de la MACC. Estos valores se obtuvieron mediante los parámetros del Equipo Marshall. De todos estos valores, se determinó que el óptimo contenido de CA en la MACC es el de 6,00 %, por cumplir con las condiciones que se encuentran señaladas en las Especificaciones Técnicas del MTC, EG-2013.

Figura 3

Propiedades físicas y mecánicas de MACC con el Ensayo Marshall



En la Tabla 3, se aprecia el resumen de los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas de la MACM con sus respectivas adiciones en porcentaje de PEBD, evaluando y determinando que el porcentaje que cumple con los requerimientos del MTC, EG-2013, Sección 423 es el de 2.00 %.

En la Figura 4, se observa la gráfica de barras de los ocho valores obtenidos con la adición de PEBD en porcentajes de 1,00 %, 1,50 %, 2,00 %, 3,00 %, 5,00 %, 7,00 %, 9,00 % y 12,00 % añadidos en la MAC. Estos valores se obtuvieron por medio del Ensayo Marshall. De todos estos valores se determinó que la MACM con contenido del 2,00 % de PEBD es el que cumple con los requerimientos señalados en las Especificaciones Técnicas del MTC, EG-2013.

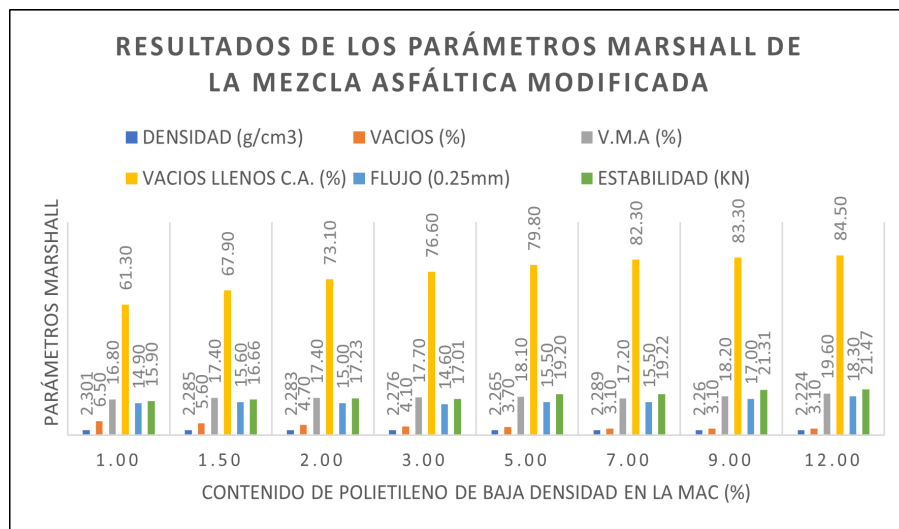
Tabla 3

Resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la MACM con PEBD

Resultados de los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica modificada con adición de polietileno de baja densidad										Técnicas de control MTC, EG-2013
PBD respecto al C.A	%	1.00	1.50	2.00	3.00	5.00	7.00	9.00	12.00	-
C.A	%	5.94	5.91	5.88	5.82	5.70	5.58	5.46	5.28	-
Densidad	g/cm ³	2.30	2.29	2.28	2.28	2.27	2.29	2.26	2.22	Máximo
vacíos	%	6.50	5.60	4.70	4.10	3.70	3.10	3.10	3.10	3.00 - 5.00
V.M.A	%	16.80	17.40	17.40	17.70	18.10	17.20	18.20	19.60	Mínimo 14
Vacíos llenos de C.A	%	61.30	67.90	73.10	76.60	79.80	82.30	83.30	84.50	65 - 78
Flujo 0,25 mm		14.90	15.60	15.00	14.60	15.50	15.50	17.00	18.30	8 - 16
Estabilidad	kN	15.90	16.66	17.23	17.01	19.20	19.22	21.31	21.47	Mínimo 5.44 kN
Estabilidad/flujo	kg/cm	4357.40	4353.85	4708.95	4731.59	5157.35	5043.45	5087.19	4774.04	1700 - 4000

Figura 4

Propiedades físicas y mecánicas de la MACM con el Ensayo Marshall



A continuación, en la Tabla 4 se muestra los resultados finales de la variación de las propiedades físicas y mecánicas de la MACC con respecto a la MACM.

Tabla 4

Resultados de la variación de las propiedades físicas y mecánicas de la MACC con respecto a la MACM

Parámetros	Variación de parámetros Marshall de la mezcla asfáltica modificada con respecto a la mezcla asfáltica convencional			Especificaciones técnicas de control MTC-EG 2013
	Mezcla asfáltica convencional	Mezcla asfáltica modificada	Variación %	
PEBD respecto al CA (%)	-	2.00	-	-
CA (%)	6.00	5.88	98 %	-
Densidad (g/cm ³)	2.239	2.283	102 %	-
Vacíos (%)	4.10	4.70	115 %	3.00 - 5.00
V.M.A (%)	19.00	17.40	92 %	Mínimo 14
Vacíos llenos CA	78.20	73.10	93 %	65 - 78
Flujo (0.01") (0.25 mm)	14.20	15.00	106 %	8 - 16
Estabilidad (kN)	14.90	17.23	116 %	Mínimo 5.44 (kN)
Estabilidad/Flujo (kg/cm)	4285.60	4708.95	110 %	1700 - 4000

Discusión

La discusión se realizó partiendo de los resultados obtenidos en esta investigación, los mismos que son comparados y contrastados con los estudios realizados anteriormente.

Según Rondón Quintana y Reyes Lizcano (2015), con la adición de polímeros u otros productos al asfalto se modifican las propiedades físico-mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas. Cuando se utiliza esta tecnología se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medio ambiente. De igual manera, Contreras Vizcarra y Zuñiga Pinillos (2020) hacen saber sobre el empleo del plástico en la MAC en la cual, utilizando diferentes tipos, proporciones y tamaños de partículas de plásticos agregados a las mezclas, compararon ambas mezclas y se observó

la mejora por la adición de plásticos como aditivos a la capa asfáltica en las propiedades mecánicas tales como la Relación de Vacíos, la Estabilidad y el Flujo, destacando notablemente que la propiedad mecánica que más se beneficia al agregar plástico al asfalto es la Estabilidad.

Delgado Reyes y Solano Paredes (2019) investigaron los efectos causados por diferentes porcentajes (3 %, 6 % y 9 %) de gránulos de plástico PEBD en la MAC. Se realizaron pruebas Marshall para establecer la estabilidad y el comportamiento del flujo en un total de 48 briquetas. Los resultados evidencian que un porcentaje mayor de gránulos de plástico PEBD en la MAC conduce a una mejor estabilidad y fluidez, siempre respetando y cumpliendo con lo que establece la norma peruana MTC, EG-2013. Para la estabilidad de 1200 kg y el

flujo de 3,12 mm, se determinó que el contenido óptimo de asfalto de la MAC base era del 5,8 %. Por otro lado, los gránulos de plástico PEBD al 6 % fueron los más representativos de los tres diseños de la MACM y el óptimo contenido de asfalto modificado es de 5.78 % con una estabilidad de 1380 kg, un flujo de 3.45 mm, una rigidez Marshall de 3994.91 kg/cm, vacíos con aire de 4 % y un V.M.A de 15.05 %. La estabilidad de la MACM aumentó en un 15 % y la rigidez Marshall aumentó en un 4 % cuando se incorporaron gránulos de plástico PEBD al 6 % en relación con la mezcla asfáltica base, pero no hubo aumento en las variables de flujo.

Finalmente, Suaryana (2018) investigó el desempeño en laboratorio de la MAC utilizando la adición de residuos plásticos y su efecto sobre la sensibilidad a la humedad, la resistencia a la deformación y la vida a fatiga de la mezcla asfáltica. La adición de desechos plásticos en la MAC aumentó la estabilidad Marshall y el módulo resiliente de la mezcla mejoró la resistencia al desprendimiento, la sensibilidad a la humedad y también la resistencia a la formación de surcos. Hasta cierto contenido de plástico, la adición de residuos plásticos mejoró la vida útil a la fatiga y la resistencia al deshilachado de la MAC. Por el contrario, la adición excesiva de residuos plásticos disminuyó la vida útil a la fatiga y la resistencia al deshilachado en comparación con la MACC. Según el resultado de la prueba Marshall, la adición de desechos plásticos aumenta la estabilidad Marshall de la MAC. Cuantos más desechos plásticos se agreguen a la mezcla, mayor es la estabilidad Marshall. La mezcla asfáltica con un 10 % de adición de residuos plásticos da mayor estabilidad. Esto está relacionado con el incremento de la rigidez de la mezcla debido a la adición de plástico. El plástico derretido se adhiere a la superficie del agregado, lo que aumenta la adherencia del áspalo y el agregado.

Las investigaciones descritas reafirman lo obtenido en la presente investigación, al obtener

mejoras de los parámetros físicos y mecánicos de la MACC por el Ensayo Marshall, mejorando considerablemente la Estabilidad de 14.90 kN a 17.23 kN y el Flujo de 14.20 (0.25mm) a 15.00 (0.25mm), cumpliendo con lo determinado en las Especificaciones Técnicas del MTC, EG-2013, tal como se aprecia en la Tabla 3.

Conclusiones

Al adicionar el polietileno de baja densidad, la mejora la calidad de las características de la mezcla asfáltica en caliente convencional, lo que significa mayor resistencia y durabilidad de la carpeta asfáltica frente a las condiciones desfavorables de clima y del incremento de volumen vehicular, que por consecuencia incrementa la vida útil de pavimento.

Se determinó mediante los ensayos realizados que el óptimo contenido del cemento asfáltico presente en la mezcla asfáltica convencional es del 6,00 %. Es así que para la mezcla asfáltica modificada se estableció la dosificación adecuada del 2,00 % del polietileno de baja densidad, lo que dio como resultado un mejor comportamiento físico de la mezcla modificada basado en los parámetros Marshall obtenidos, los cuales cumplen con los requisitos de calidad establecidos por el MTC, EG-2013. Se obtuvo los siguientes resultados con respecto a la mezcla asfáltica convencional, el contenido de cemento asfáltico(%) bajo de 6,00 % a 5,88 %, lo que nos permite un ahorro considerable del 0,12 % de CA, la densidad (g/cm³) aumento de 2.239g/cm³ a 2.283g/cm³ lo que permite tener una mezcla más densa. El porcentaje de vacío con aire (%) aumentó de 4.1 a 4.7, lo que permite cumplir con el rango establecido que es de 3 % a 5 %. Los vacíos de agregado mineral VMA (%) disminuye de 19,00 % a 17,4 % cumpliendo con el mínimo establecido de 14 %, los vacíos llenos con CA (%) disminuye de 78.2 a 73.10 cumpliendo ambos con el rango de 65 a 78.

La adición del polietileno de baja densidad en la mezcla asfáltica, mediante el proceso por vía húmeda, se incrementa de manera notable el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica modificada, esto con respecto a la mezcla asfáltica convencional, en los siguientes indicadores Marshall, la Estabilidad (KN) se incrementó considerablemente de 14.90 KN a 17.23 KN, cumpliendo con el valor mínimo de 5.44 KN. Este aumento es un indicador de su mayor resistencia a la deformación. Con respecto al Flujo (0.25mm), aumentó de 14.20 a 15.00, cumpliendo con el rango permitido de 8-16. Este incremento es un indicador de su mayor flexibilidad. Finalmente, la Estabilidad/Flujo (Kg/cm) aumentó de 4285.60 kg/cm a 4708.95 kg/cm. Estos dos resultados, tanto de la mezcla convencional, como de la mezcla modificada, se encuentran fuera del intervalo permitido, que es de 1700 a 4000 kg/cm, según establece el MTC (EG-2013). Este incremento es un indicador de mayor rigidez.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios por siempre acompañarme a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza, y también a mi familia por su apoyo incondicional.

A la prestigiosa Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo y en ella a la Facultad de Ingeniería Civil, encargada de nuestra formación profesional y ética para contribuir con el desarrollo de nuestra sociedad.

Referencias

- Contreras Vizcarra, D. F., & Zuñiga Pinillos, J. M. (2020). *Influencia de los desperdicios plásticos en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas*. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3686>
- Delgado Reyes, C. N., & Solano Paredes, S. J. (2019). Análisis de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente con la adición de. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/41898>
- Marea Verde, P. (29 de 09 de 2020). *Marea Verde Panamá*. https://twitter.com/MareaVerde_PA/status/1311098803718696961
- MTC. (2013). EG. Lima. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf
- MTC. (3 de junio de 2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_5%20%20EM-2016.pdf
- MTC. (2018). *Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/03_GT%20Uso%20Frecuente.pdf
- Rodríguez, D. (28 de 03 de 2019). *Los 7 tipos de plásticos, características y usos*. <https://www.lifeder.com/tipos-de-plasticos/>.
- Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos, materiales, construcción y diseño*. <https://onx.la/7197b>
- Suaryana, N. N. (2018). Residuos de bolsas de plástico en mezcla asfáltica en caliente como modificador. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.789.20>
- Turmero, P. (2011). *Materiales Plásticos*. <https://tinyurl.com/24g4uxcy>