

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS DE BAJA DENSIDAD

Sheila Tatiana Góngora Ayala¹, Jahel Sarvia Ledezma Pérez²,
Claudia Stephany Aguilar Balderrama³, Alexander Villa Orellana⁴

¹ Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Laboratorio de Pavimentos y Asfaltos, Calle Sucre y Parque la Torre, Cochabamba – Bolivia, sgongora01@est.fcyt.umss.edu.bo

² Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Laboratorio de Pavimentos y Asfaltos, Calle Sucre y Parque la Torre, Cochabamba – Bolivia, sarvialedezma@fcyt.umss.edu.bo

³ Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Laboratorio de Pavimentos y Asfaltos, Calle Sucre y Parque la Torre, Cochabamba – Bolivia, caguilar25@est.fcyt.umss.edu.bo

⁴ Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Laboratorio de Pavimentos y Asfaltos, Calle Sucre y Parque la Torre, Cochabamba – Bolivia, avilla21@est.fcyt.umss.edu.bo

Resumen

El constante uso de bolsas plásticas provenientes de centros urbanos e industrias hace cada vez más preocupante su acumulación, siendo importante buscar una solución sustentable. Por otro lado, la creciente demanda del tránsito actual, magnitud de las cargas y la necesidad de optimizar las inversiones requiere el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica convencional. El presente trabajo evalúa el comportamiento de una mezcla asfáltica mejorada con polietileno de baja densidad a través del proceso de vía seca. Los resultados obtenidos muestran mejoras en las propiedades de la mezcla al incorporar 1.0 % de polietileno de baja densidad en forma de tiras. De esta forma, se observó una mayor estabilidad en relación a los parámetros del ensayo Marshall, así como también un aumento en la resistencia al daño inducido por el agua y deformación permanente en relación al desempeño de la mezcla convencional.

Palabras clave: Mezcla asfáltica mejorada. Vía seca. Polietileno de baja densidad. Daño inducido por el agua. Deformación permanente.

1 Introducción

La modificación de mezclas asfálticas con polímeros es una técnica que data de hace más de medio siglo en los países con mayor desarrollo y avance tecnológico.

Un ejemplo de vías pavimentadas con adición de residuos plásticos es Ámsterdam, que en 1936, construyó vías que soportaron todo el tráfico pesado de la invasión a Alemania, lo cual impresionó por su perfecto desempeño hasta el punto de crear recomendaciones para su construcción posterior en Europa y Estados Unidos [1].

Estudios realizados en España por el ingeniero Miguel Ángel del Val [3], demostraron que al sustituir porcentaje de betún por desperdicio plástico doméstico y

al ser probado en el ensayo de pista del laboratorio, presentaba mejor resistencia a la deformación permanente que una mezcla convencional.

En Colombia, en 1998, los ingenieros Fredy Alberto Lizcano y Óscar Javier Reyes Ortiz [4], presentaron un estudio experimental sobre el porcentaje de desperdicio plástico, con respecto al peso de la briqueta del ensayo Marshall, este presentó mejores propiedades mecánicas en los resultados de estabilidad, flujo, peso unitario y módulo de los ensayos Marshall. En adición, también mejoraba la susceptibilidad térmica, rigidez, resistencia al envejecimiento, resistencia a las deformaciones plásticas y a la fatiga [2,5,6,8].

Según la norma INVIAS (Instituto Nacional de Vías) [12], la adición de polietileno mejora el desempeño de mezclas asfálticas a altas temperaturas, presentando mejoras significativas respecto de la mezcla convencional en cuanto a mayor capacidad de carga monotónica y ahuellamiento [8]. En este sentido, la presente investigación estudia el efecto de la incorporación de polietileno de baja densidad LDPE (*Low density polyethylene*) en mezclas asfálticas.

2 Ventajas y desventajas de las mezclas asfálticas modificadas con Polietileno de baja densidad LDPE

Una de las principales características que presenta el cemento asfáltico modificado con LDPE es el aumento de la viscosidad de la mezcla resultante, que se hace más flexible a bajas temperaturas y menos plástica a temperaturas elevadas [7, 9].

Otra ventaja importante es el aumento de la resistencia a las deformaciones permanentes y a la fatiga. Se observa también que el LDPE confiere estabilidad térmica al asfalto [10, 11].

La mayor desventaja es el costo inicial de la mezcla asfáltica modificada, sin embargo, si realiza un análisis a largo plazo; el elevado costo inicial es compensado por la reducción del mantenimiento futuro y el alargamiento de la vida útil del pavimento [11].

3 Materiales y metodología

3.1 Materiales

Los agregados pétreos utilizados para la investigación provienen de la planta de Asfaltos de Sacaba ubicada en la ciudad de Cochabamba, Bolivia. Se empleó cemento asfáltico convencional con clasificación por penetración 85/100.

Por último, los residuos plásticos de baja densidad, fueron bolsas de leche provenientes del centro de acopio de plásticos de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS).

3.1.1 Caracterización de agregados y composición granulométrica

La Tabla 1 presenta los resultados de los ensayos realizados para la caracterización de agregados.

Tabla 1. Resultados de los ensayos de caracterización de agregados.

Ensayos	Norma	Requerimiento	Resultados	Verificación
Agregado Grueso				
Caras fracturadas (%)	ASTM D-5821-0	Min. 90	91.67	Cumple
Abrasión de los ángeles (%)	ASTM C-131C-535	Max. 40	20.43	Cumple
Método de los sulfatos para determinar la desintegración (%)	ASTM D5821/2006	Máx. 12	6.88	Cumple
Densidad del agregado grueso (gr/cm ³)	ASTM D-127	-	2.73	-
Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados gruesos	DNER – ME 078/94	Min. 95	98.17	Cumple
Agregado Fino				
Densidad del agregado fino (gr/cm ³)	ASTM D-128	-	2.76	-
Densidad del filler (gr/cm ³)	IRAM 1-542	-	2.78	-
Equivalente de arena (%)	ASTM D-2419	Min. 55	73.13	Cumple
Límites de consistencia	ASTM D-4318	No plástico	No plástico	Cumple
Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (Riedel Weber)	INVIAS E-774-07	Min.4	6	Cumple

La distribución de la curva granulométrica siguió las especificaciones técnicas generales de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC [13]. Se adoptó la faja C tamaño máximo de 3/4" (19 mm) y tamaño máximo nominal de 1/2" (12,5 mm).

3.1.2 Propiedades del cemento asfáltico convencional penetración 85-100

Las Tablas 2 muestran los resultados de los ensayos realizados para la caracterización del cemento asfáltico convencional con clasificación por penetración 85/100.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico.

Ensayos	Norma	Requerimiento	Resultados
Penetración	ASTM D5	-	80.73
Ductilidad	ASTM D113	-	<100
Densidad del asfalto	ASTM D70	-	1.019
Viscosidad Saybolt Furol	ASTM D88	Temperatura (°C)	Viscosidad SF (cSt)
		130	1093.48
		150	408.7
		170	134.78

3.1.3 Propiedades de los residuos plásticos de baja densidad

Los resultados de los ensayos realizados para determinar las propiedades del polietileno de baja densidad se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la caracterización de plásticos.

Material	Propiedades ópticas	Densidad (g/cm ³)	Comportamiento a la flama				pH	Prueba de Beilstein
			Combustibilidad	Duración de la flama	Color de la flama	Color de humus		
LDPE	Traslucido	< 0.93	Fácil	continúa	azul	blanco	7	amarilla

3.2 Determinación del tiempo y temperatura de digestión

Para determinar el tiempo y temperatura de digestión óptimos, se analizó las temperatura mínima y media de compactación. La Figura 1 presenta los resultados obtenidos.

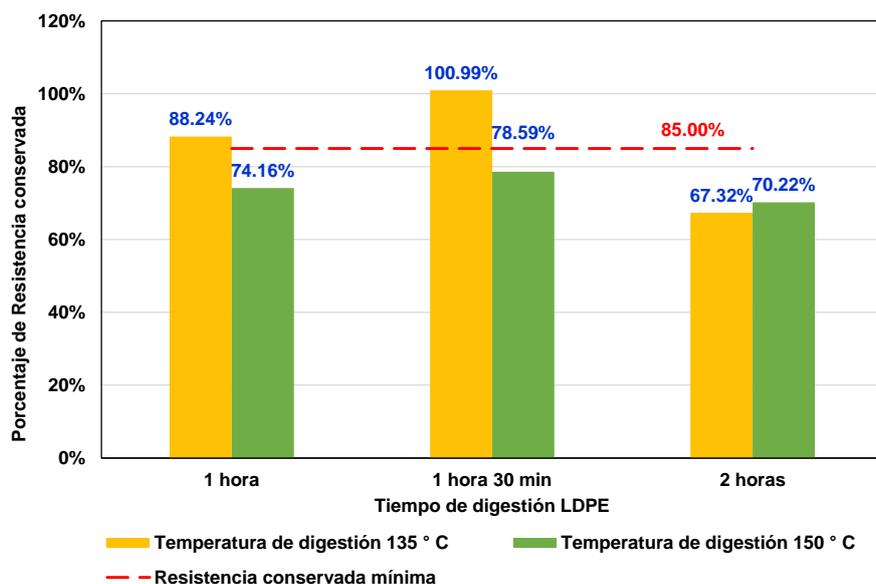


Figura 1. Resultados de la resistencia conservada de las mezclas incorporadas con LDPE.

Tras la evaluación de los resultados se decidió trabajar con un tiempo de digestión de 1 hora y 30 min a temperatura de 135° C. Esto debido al cambio en la curva calorimétrica del plástico, aproximadamente a 135 °C en el ensayo de análisis termogravimétrico y calorimetría diferencial de barrido (DSC- TG). Esta variación no implica una pérdida de masa, pero si una modificación de forma. Debido al cambio de energía calórica, el plástico se comprime, pero no se degrada a la temperatura indicada.

3.3 Determinación del porcentaje óptimo de adición de polietileno de baja densidad

Los porcentajes de residuos plásticos varían dependiendo el método de incorporación, ya sea este por vía húmeda o por vía seca. Con base a estudios previos, se determinó analizar los porcentajes de adición de LDPE de A=0.6%, B=0.8% y C=1.0% en peso del agregado.

3.4 Dosificación Marshall

Para efectos de comparación, se elaboraron dos tipos de mezclas: una mezcla con cemento asfáltico convencional y una mezcla asfáltica modificada con residuos plásticos de polietileno de baja densidad LDPE.

El método utilizado para ambos tipos de mezclas asfálticas ha sido normalizado por la ASTM D-1559. La Figura 2 muestra el método de incorporación de las tiras de plástico de leche a la mezcla asfáltica convencional.



Figura 2. Resumen de la elaboración de los cuerpos de prueba para la mezcla asfáltica convencional incorporada con polietileno de baja densidad.

3.5 Determinación del contenido óptimo de asfalto

La determinación del contenido óptimo de asfalto se realizó bajo el criterio de volumen de vacíos de aire que según especificaciones técnicas del Instituto del Asfalto el rango permitido de vacíos es de 3 a 5 %. La Tabla 4 presenta los resultados obtenidos del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para cada una de las mezclas asfálticas evaluadas y los valores de estabilidad, flujo, densidad, vacíos llenos de asfalto (VFA) y vacíos en el agregado mineral (VMA).

Tabla 4. Resultados del porcentaje óptimo de asfalto.

Mezclas	C.A. Óptimo (%)	Densidad (Kg/ cm ³)	Estabilidad (N)	Flujo (0.25 mm)	"VTM" (%)	"VFA" (%)	"VMA" (%)
Norma	-	-	Min 5338	8 a 14	3 a 5	65 a 75	Min 14
M.A.C.C.A. ⁽¹⁾	5.2	2336.09	15661	14	4.00	70.79	13.37
M.A.C.C.A. 0.6% LDPE ⁽²⁾	6.5	2251.01	14525	13	7.60	57.21	17.66
M.A.C.C.A. 0.8% LDPE	7.0	2228.99	9125	16	6.05	68.01	18.90
M.A.C.C.A. 1.0% LDPE	6.5	2284.40	15067	15	4.15	74.75	16.44

Nota:

⁽¹⁾ Mezcla asfáltica convencional con aditivo mejorador de adherencia.

⁽²⁾ Mezcla asfáltica convencional con aditivo mejorador de adherencia e incorporación de polietileno de baja densidad.

Tras analizar los resultados del ensayo Marshall mostrados en la Tabla 4, se observa que el porcentaje de 1.0% de adición de LDPE presentó la mayor estabilidad 15067 N, teniendo un porcentaje de vacíos de 4.15 %, establecido dentro del rango especificado. Otra mezcla con buena estabilidad 14525 N, es la de 0.6% de adición; pero presenta un porcentaje de vacíos por encima del rango especificado. Dicho lo anterior, se determinó que 1.0% de adición de LDPE, es la mezcla incorporada que presentó mejor resultados.

3.6 Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas

El desempeño de las mezclas asfálticas se evaluó mediante ensayos de susceptibilidad a la humedad y la susceptibilidad a la deformación permanente.

3.6.1 Evaluación de la susceptibilidad a la humedad

En la Figura 3 observamos que el LDPE modifica la mezcla asfáltica, presentando una buena adherencia con los agregados. Todos los porcentajes incorporados cumplen con el valor mínimo de resistencia conservada, siendo 1.0% el de mejor desempeño en cuanto a la susceptibilidad a la humedad con un valor de 105.02%.

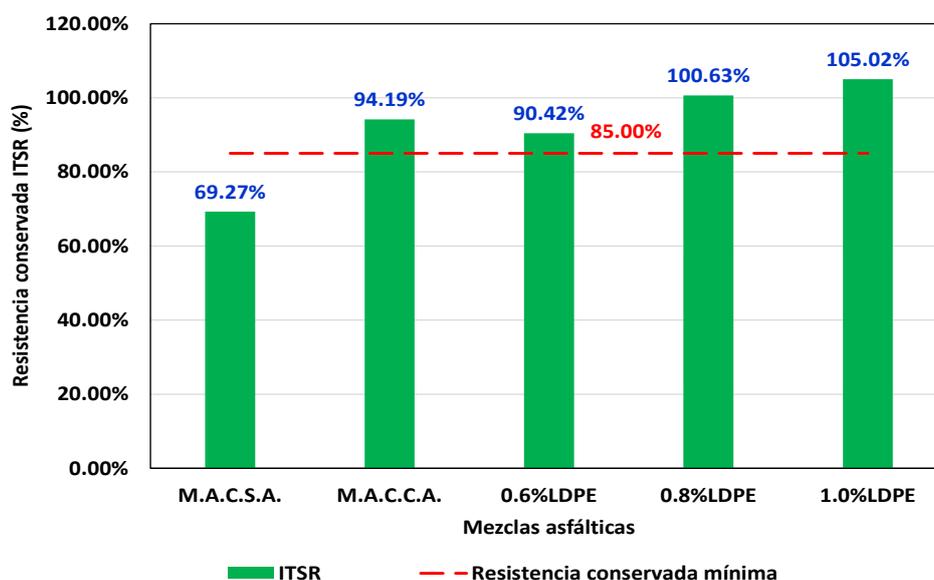


Figura 3. Resultados de la resistencia conservada ITSR

3.6.2 Evaluación de la susceptibilidad a la deformación permanente

Para evaluar la posibilidad de daño por humedad, las muestras se acondicionaron en agua a temperatura controlada de 50 °C, durante el ensayo.

La mezcla asfáltica convencional con aditivo mejorador de adherencia (M.A.C.C.A.) presentó los resultados ilustrados en la Figura 4, se observa la existencia de stripping o desgranamiento a 4533 pasadas.

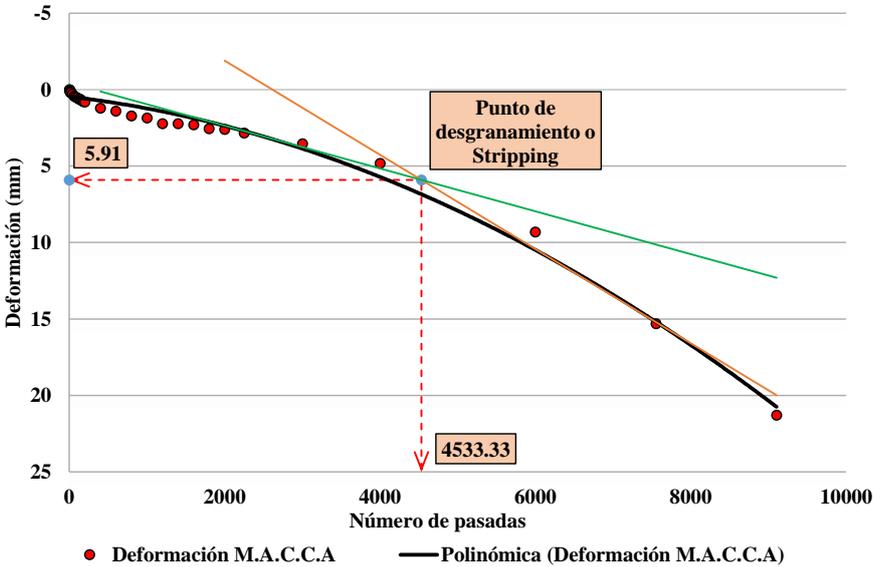


Figura 4. Curva ahuellamiento ensayo rueda de Hamburgo para mezcla M.A.C.C.A.

La mezcla asfáltica convencional con aditivo mejorador de adherencia e incorporación de 1.0% de LDPE presentó los resultados de la Figura 5. La mezcla no presentó punto de stripping o desgranamiento. La deformación máxima a 20000 pasadas fue de 16.37 mm. La Figura 6 muestra los cuerpos de prueba tras evaluación.

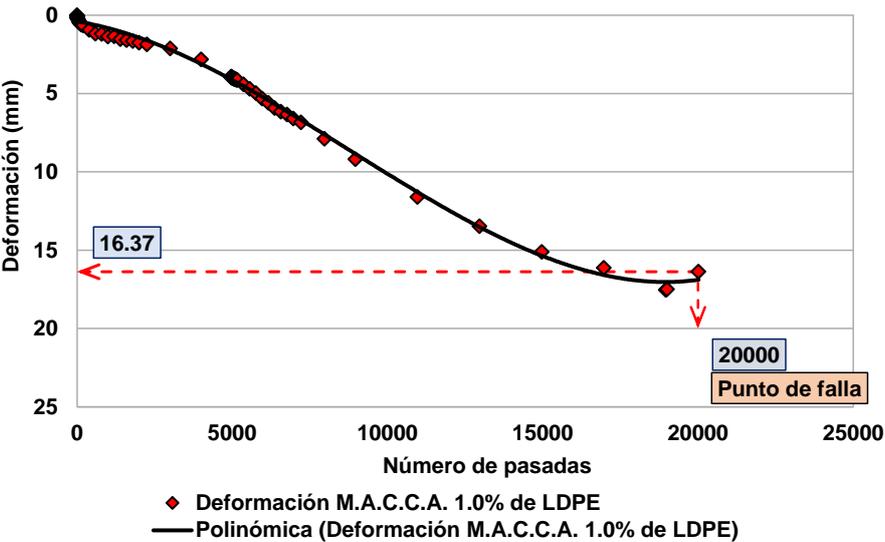


Figura 5. Curva ahuellamiento ensayo rueda de Hamburgo para mezcla M.A.C.C.A 1.0% de LDPE.

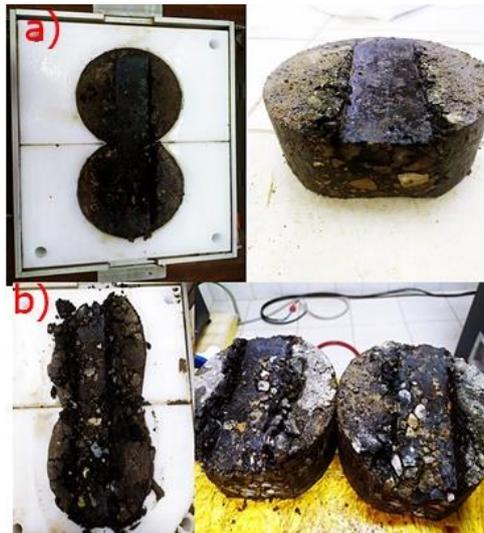


Figura 6. Ahuellamiento de las mezclas evaluadas. a) M.A.C.C.A.1.0% LDPE
b) M.A.C.C.A.

4 Conclusiones

El estudio realizado evaluó el comportamiento de mezclas asfálticas incorporadas con residuos plásticos de baja densidad, tras la evaluación de resultados del ensayo Marshall, se determinó el porcentaje de adición óptimo de dicho residuo. Finalmente se evaluó su desempeño mediante el ensayo de sensibilidad a la humedad y deformación permanente.

Tras la evaluación del comportamiento de mezclas asfálticas con incorporación de diferentes porcentajes de residuos plásticos de baja densidad LDPE, por vía seca, se concluye lo siguiente:

El tiempo de digestión que presentó mejores resultados en cuanto a resistencia conservada fue el de una hora y media para ambos materiales. Las temperaturas estudiadas fueron de 135 y 150 ° C, siendo la primera la que obtuvo mejor comportamiento de las mezclas.

La densidad de la mezcla asfáltica convencional aumenta debido a la presencia de LDPE.

La incorporación de 1.0% de LDPE genera efectos favorables en el flujo de las mezclas, manteniendo los valores de flujo en los límites permitidos por la norma y cercanos a la mezcla tradicional.

La incorporación de LDPE en la mezcla aumenta la estabilidad Marshall en comparación con una mezcla convencional, siendo el porcentaje de 1.0% el que presentó los valores mayores en cuanto a Estabilidad Marshall y resistencia conservada.

La mezcla asfáltica convencional incorporada con residuos plásticos de baja densidad LDPE, presentó mejor resistencia a la susceptibilidad a la humedad en el ensayo de Rueda de Hamburgo.

La mezcla asfáltica convencional con incorporación de 1.0% de LDPE presentó buena resistencia a la deformación permanente en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

5 Referencias

- [1] F. E.P.D. Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos. Universidad católica de Colombia facultad de ingeniería Especialización en ingeniería de pavimentos, 2014.
- [2] HARQ, FARL, ASFI, ERR, CMRT, TAM "Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia". Colombia, 2007.
- [3] MÁDV Mezclas bituminosas resistentes a las deformaciones permanentes mediante sustitución parcial del betún por un polímero. En: Congreso Iberoamericano del Asfalto (3: 8-12. octubre): Cartagena (D. T.) Memorias: Escuela Colombiana de Ingeniería, 496 p., 1985.
- [4] RL & FAOJ & RO Mejoramiento de las propiedades mecánicas de una capa de asfalto con desperdicios plásticos. En: Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos (11: 8-12, octubre, 1997): Cartagena (D. T.) Memorias: Escuela Colombiana de Ingeniería, p.1998.
- [5] ALMC & AAP & MAV & NL & GLS. Materiales de desecho como modificantes de la mezcla asfáltica 2015.
- [6] RQHA & FARL & ASFI & ERR & CMRT & AME. Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. 2007.
- [7] FEB & FSFA & RL. Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado, 2008.
- [8] MUCA & SHCA. Estado del arte de mezclas asfálticas modificadas en los últimos 10 años: caso estudio universidades de Bogotá D.C.. Universidad Piloto de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá D.C., Colombia, 2017.
- [9] LFCD & CCSS. Polietileno de baja densidad como alternativa para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente MDC-19. 2017.
- [10] GMD, RQ, HA, JASG, FGWD, RL & AF "Influence of four non-conventional additives on the physical, rheological and thermal properties of an asphalt". Ingeniería e Investigación, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia, 2018.
- [11] HARQ, FARL, ASFI, ERR, CMRT, TAM "Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia". Colombia, 2007.
- [12] INVIAS Instituto Nacional de Vías, Colombia.
- [13] ABC Administradora Boliviana de Carreteras, Bolivia.
- [14] ASTM American Society for Testing and Materials, Estados Unidos.
- [15] DNER Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil.
- [16] IRAM Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina.