



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTADE DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADO PARA ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE
PAVIMENTOS**

**“IMPLEMENTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON
POLÍMEROS EN PISTAS DE ATERRIZAJE”**

DIEGO LEANDRO LOPEZ MONCADA

Tutor de trabajo de grado: JAVIER FERNANDO CAMACHO TAUTA

Bogotá D.C, Colombia, 2015

IMPLEMENTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PISTAS DE ATERRIZAJE

Diego Leandro López Moncada
Ingeniero Civil, U. Santo Tomas de Aquino, aspirante a Especialista en ingeniería de pavimentos.

dllopez.ing@hotmail.com

1. RESUMEN

El propósito de este trabajo es analizar los efectos de la implementación de concreto asfáltico modificado con polímeros sobre la vida útil y el rendimiento. Los asfaltos convencionales que se encuentran en Colombia son blandos y en zonas del territorio nacional no cumplen las exigencias mínimas de las especificaciones técnicas. Esta metodología sirve como alternativa para la solución de problemas en las propiedades mecánicas del asfalto convencional. Con el tiempo, este pierde propiedades mecánicas al estar sometido a factores que corresponden a altas temperaturas, humedad y niveles de tránsito, lo que lleva a que se presenten problemas de deformaciones, fatiga entre otros. Al usar los polímeros en la mezcla, se está aumentando la rigidez de la misma y se controla una de las patologías más críticas, el ahuellamiento.

Palabras clave: Asfalto, polímeros, asfaltos modificados, pavimento.

2. ABSTRACT

The purpose of this work is to analyze the effects of the implementation of asphaltic concrete modified with polymers over the lifetime and performance. The conventional asphalts found in Colombia are soft, besides, in areas of the country do not accomplish the minimum requirements of technical specifications. Therefore, this serves as an alternative methodology for solving problems in the mechanical properties of conventional asphalt. Over time, conventional asphalt loses mechanical properties because it is exposed to factors such as high temperatures, humidity and transit levels, which leads to problems of deformation, fatigue, among others. The stiffness increase by using the polymers in the mixture, and this controls one of the most critical pathologies, rutting.

Keywords: Asphalt, polymers, modified asphalt, paving

3. INTRODUCCIÓN

La implementación de los concretos asfálticos modificados con polímeros es una técnica que se ha venido desarrollando desde hace unos años en varias pistas a nivel nacional (CACOM 1 en Puerto Salgar y CACOM 2 en Apiay de la fuerza aérea) presentando unos comportamientos estables donde la vida útil de la pista se ha ampliado y las operaciones aéreas han sido normales sin presentar ningún tipo de riesgo. La utilización de los modificadores del asfalto ayuda a aumentar su rigidez y a disminuir las deformaciones que se producen debido al ahuellamiento Pérez y López [1]. El planteamiento de este problema cobra importancia a la luz de la necesidad que tienen las pistas de aterrizaje de los campos militares de garantizar seguridad en las operaciones aéreas y el tránsito de logística, lo cual no se evidencia en los campos aéreos, los cuales se han venido deteriorando con el tiempo, dificultando el tránsito de las aeronaves de combate y las de logística. De igual forma, este deterioro es consecuencia de la utilización de pavimentos flexibles convencionales, que con el tiempo han estado expuestos a mayores esfuerzos en su estructura y al efecto de los cambios climáticos, lo que genera deformaciones en las capas inferiores y superiores. Por esta razón se ha venido implementando esta tecnología de los concretos asfálticos modificados con polímeros, ya que esta técnica mejora las características que presentan las mezclas convencionales cuando experimentan niveles elevados de tránsito y gradientes de temperatura.

Con esta técnica se logra el aumento de la cohesión y la adhesividad Pérez y López [1]. Adicionalmente se busca un incremento en el tiempo de vida útil del pavimento, lo cual solucionaría el problema relacionado con las patologías que se presentan y periodo de tiempo al cual el pavimento será intervenido para una rehabilitación, por lo que es totalmente viable la implementación de los concretos modificados con polímeros para así lograr mejorar el problema de infraestructura de las pistas militares que presenta el país.

De acuerdo a la presencia de patologías como la fatiga, las deformaciones permanentes y las ondulaciones asfálticas, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) ha estado promoviendo el uso de nuevas alternativas de concretos asfálticos, mediante la actualización de normas y especificaciones técnicas. Estas alternativas permiten la producción de mezclas asfálticas con mejores características que las que se venían usando y fueron necesarias debido a la exigencia de mejores materiales y mayores controles de calidad para garantizar una mayor resistencia de las mezclas al ser sometidas a diferentes condiciones.

El propósito de este trabajo es determinar, mediante los ensayos de laboratorio, las ventajas en cuanto a rendimiento y tiempo de serviciabilidad que tiene una mezcla asfáltica modificada con polímeros con respecto a una mezcla asfáltica convencional para la construcción del nuevo aeródromo en el Grupo Aéreo del Oriente – GAORI, Marandua - Vichada. Esto con el fin de mostrar que la implementación de estas mezclas modificadas con polímeros se puede desarrollar en escenarios de difícil acceso, donde las materias primas son escasas y no cumplen con las mínimas exigencias de las normas de INVIAS [2].

4. MARCO TEÓRICO

4.1. ORIGEN DEL ASFALTO

En la antigüedad, las aplicaciones del asfalto según Malo [3] eran limitadas, tales como la chapa de bóvedas y la argamasa permeable. Adicionalmente, el asfalto es, sin lugar a duda, uno de los materiales más antiguos utilizados por el hombre, y esto ha sido comprobado mediante estudios arqueológicos, de acuerdo a Wulf [4]. Los principales yacimientos de asfalto se han identificado repartidos en la superficie del planeta, en casi todos los terrenos volcánicos. Aun así los yacimientos de asfalto son contados, como lo explica Malo [3].

Hacia el año 3200 A.C. se remonta la utilización del asfalto. Según Wulf [4] hubo excavaciones realizadas en Tell Asmer, cerca de Bagdad, que permitieron identificar que los sumideros habían utilizado un mastic de asfalto para la construcción, el cual era utilizado como revestimiento impermeable. Los egipcios la usaban como relleno del cuerpo en trabajos de momificación. Los árabes los usaron como medicina, práctica que han desarrollado hasta nuestra época.

Wulf [4] Menciona que el betún natural fue descubierto a mediados del siglo XVI, en la isla de Trinidad, por Cristóbal Colón. En 1712, el griego Eirini D`Eyrinis hizo otro descubrimiento: el yacimiento de asfalto de Val de Travers en Suiza y luego el yacimiento de Seyssel en el Valle de Ródano, a partir de estos yacimientos se elaboró el “mastic de asfalto”, aplicado a revestimientos de caminos y senderos. Sin embargo, el primer antecedente en el cual se usó un tipo de asfalto fue en Francia en 1802. En 1824, la firma Pillot et Eyquem comenzó a fabricar adoquines de asfalto, que en 1837 se utilizaron para pavimentar la Plaza de la Concordia y los Campos Elíseos en París. En 1852, la construcción de la carretera Paris – Perpiñan utilizó el asfalto Val Travers, significando el comienzo de una nueva forma de construcción vial. En 1869, se introduce el procedimiento en Londres (con asfalto de Val de Travers) y en 1870 en Estados Unidos con similar ligante. Desde esta época, el “asfalto” se implantó sólidamente en las vías urbanas y propició su uso vial. La construcción del primer pavimento, tipo Sheet Asphalt, ocurre en 1876 en Washington D.C., con asfalto natural importado. En 1900 aparece la primera mezcla en caliente utilizada en la rue du Louvre y en la Avenue Victoria en París, la cual fue confeccionada con asfalto natural de la isla de Trinidad. A partir del año 1902, de acuerdo con Fernando Andrés Wulf Rodríguez [3] en su trabajo de grado, se inicia el empleo de asfaltos destilados de petróleo en los Estados Unidos, que por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento.

4.2. ¿QUE ES ASFALTO?

De acuerdo con Valenzuela [5] el asfalto es un material aglomerante de color oscuro, constituido por mezclas complejas de hidrocarburos no volátiles de alto peso molecular. Según Moreno y Calvo [6], el asfalto es un material que se obtiene como residuo de la refinación de yacimientos de petróleo. Por su versatilidad y fácil manejo es ampliamente utilizado en diferentes ramas de la construcción.

De acuerdo a las necesidades de diferentes entidades y la localización de los proyectos se empiezan a crear nuevas metodologías que buscan optimizar los procesos y sus materiales. Los asfaltos modificados como lo menciona [7], son producto de la incorporación de un polímero o caucho molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura, humedad y oxidación, así como aumentar la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y esfuerzos de tensión repetidos.

4.3. PRINCIPALES MODIFICADORES DE ASFALTO

Los principales modificadores de asfalto según Wulf [4] son:

4.3.1. Polímero tipo I: es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperatura. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

4.3.2. Polímero tipo II: Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezcla asfáltica a bajas temperaturas; es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

4.3.3. Polímero tipo III: Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietilenote alta o baja

densidad, entre otras, se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimento con elevados índices de tránsito.

4.3.4. Caucho molido de neumáticos: Este mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales.

5. MATERIALES Y METODOLOGIA

El trabajo se basa en la caracterización de los materiales constituyentes, dosificación y ensayos para la determinación de las propiedades de la mezcla bituminosa, para esto se ha seguido la siguiente metodología en los trabajos:

- Estudio de los materiales
- Dosificación y ajuste de curvas granulométricas.
- Determinación de las propiedades de las mezclas:
 - Vacíos.
 - Resistencia Marshall.
 - Sensibilidad al agua.
 - Rodadura.
 - Ensayos dinámicos: rigidez y fatiga a 4 puntos.

En primera instancia se realizaron los ensayos con los materiales encontrados en la zona del proyecto y materiales de la sabana de Bogotá dando la caracterización de estos. El siguiente paso fue hacer la caracterización de tres tipos de mezcla asfáltica, la primera una mezcla P-401 la cual se toma de referencia, la segunda mezcla se elaboró con 7% de polímeros y la tercera mezcla se realizó con 11% de polímeros.

Los materiales granulares encontrados en la zona del proyecto, Grupo Aéreo de Oriente (GAORI), y con los cuales se realizaron los ensayos de granulometría fueron los que se pueden ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales de la zona.

Arena 0/5 mm del rio Orinoco
Ferrillo 0/22 mm
Ferrillo 5/20 mm. Cribado (1)
Cemento
Betún (2)
Polímeros

1. Ferrillo cribado para corregir la curva granulométrica final.
2. Betún activado al 0,3 % sobre el peso del Betún.

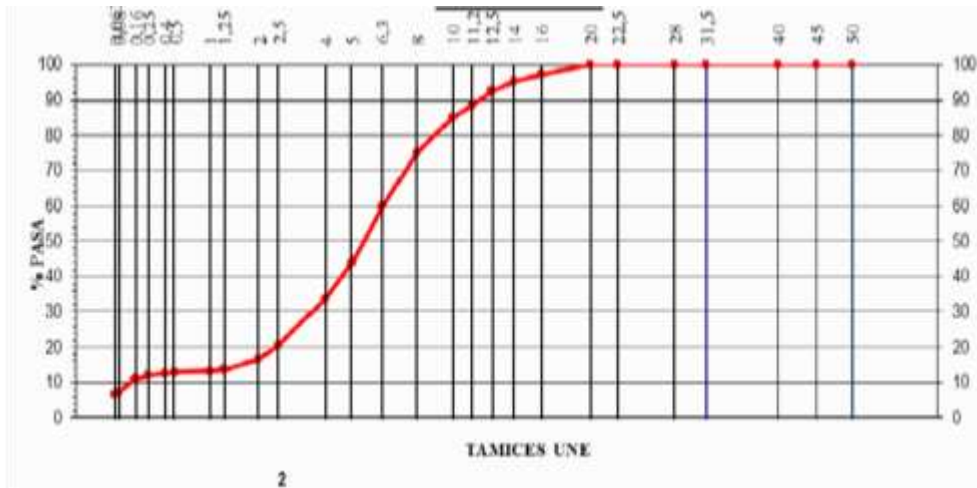
6. RESULTADOS Y ANALISIS

6.1. ESTUDIO DE MATERIALES

6.1.1. Granulometría de los áridos.

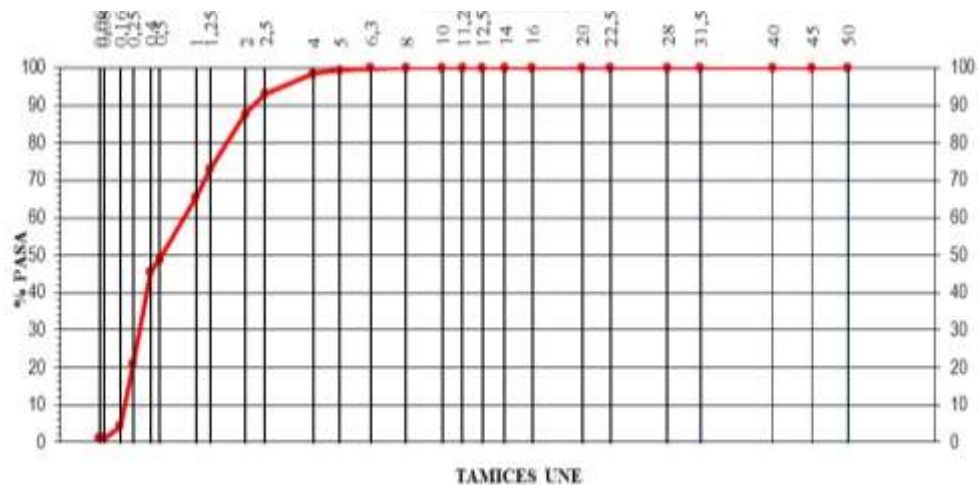
El ensayo de análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (INV E-213-07) se realiza por lavado de todas las fracciones de árido. Las curvas granulométricas se de los granulares se muestran a continuación en la Figura 1, 2 y 3.

Figura 1 Curva granulométrica de ferrillo 0/22 mm



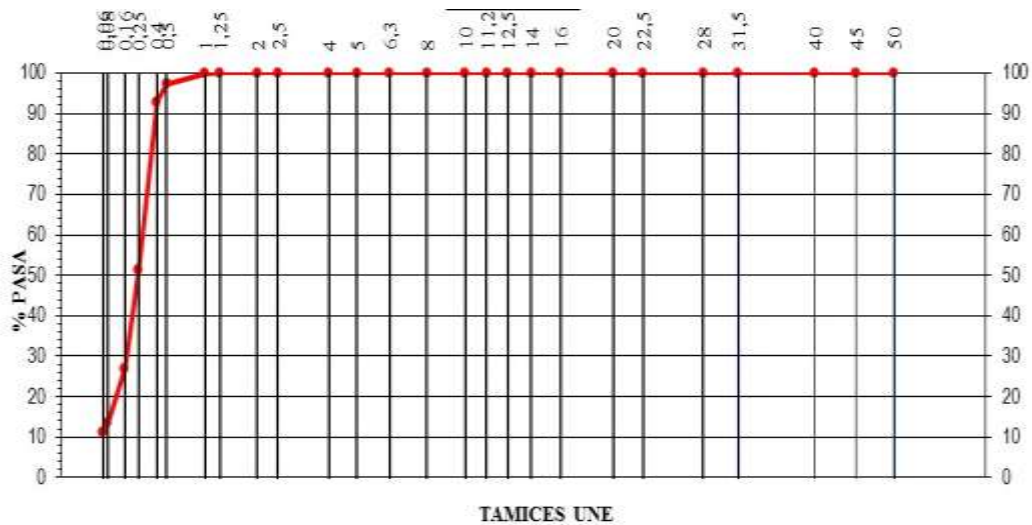
Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente

Figura 2 Curva granulométrica de arena 0/4 mm Del Orinoco



Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente

Figura 3. Curva granulométrica 0/4 mm arena Sabana.



Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente

Al ligante usado es un asfalto 60/70 de Barranca, se le ha efectuado los ensayos del ligante original y del ligante activado con el activante de adhesividad. Adicionalmente se realizaron los siguientes ensayos.

- Penetración (INV E-706-07) este ensayo se efectuó a una temperatura de 25°C, con una carga de 100 gramos durante 5 segundos.
- Punto de ablandamiento anillo y bola (INV E-712-07), el ensayo se efectuó con agua incrementando la temperatura a razón de 5°C por minuto.
- Índice de penetración, NTL 181, este índice se calcula de acuerdo a una fórmula establecida es la norma mencionada, y con los datos del ensayo de ablandamiento anillo y bola.
- Viscosidad (UNE-EN 13302), se determina mediante el viscosímetro rotacional Brookfield. Obteniendo lo siguiente en la Tabla 2:

Tabla 2. Viscosidad

Temperatura, °C	Ligante Viscosidad, Cp.	Ligante activado Viscosidad, Cp.
100	3409	3467
130	514	501
150	182	174
160	125	115

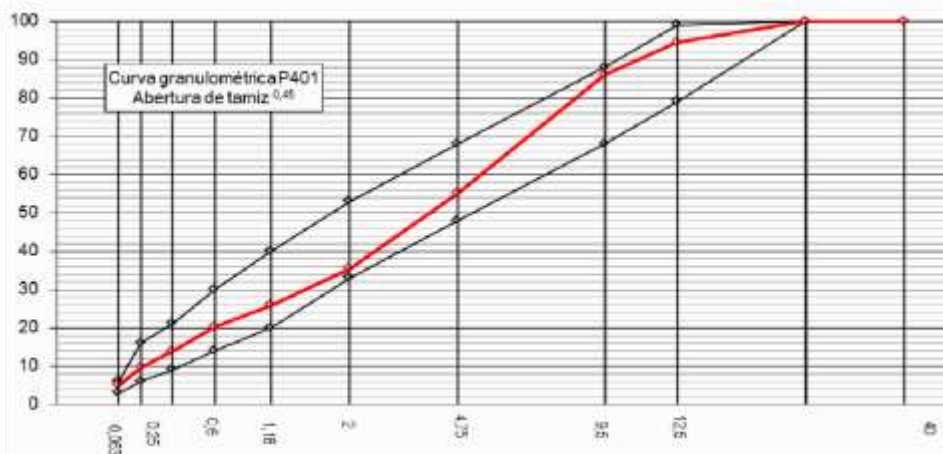
Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente

6.1.2. Mezclas Bituminosas

De acuerdo con las necesidades del proyecto de la pista se realizó un diseño de mezcla bituminosa para tres tipos de mezclas, P401 con activante, P401 con activante y 7% de polímero y P401 con activante y 11% de polímero.

Inicialmente se elaboró un estudio de mezcla para verificar contenido de vacíos y el comportamiento de la mezcla de referencia. A partir de los resultados obtenidos, se ajustan las curvas granulométricas, se define los contenidos de ligante y se realiza una evaluación de las propiedades de los distintos tipos de mezclas. La curva granulométrica de la mezcla de referencia es la presentada a continuación en la Figura 4.

Figura 4 Curva granulométrica mezcla P401 de referencia.



Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente

Con la dosificación de árido anterior, reproduciendo la curva combinada de los áridos junto el betún al 0,3% sobre el peso del betún, se fabrica mezcla en el laboratorio con distinta dotación de ligante y se efectúan los siguientes ensayos.

- Densidad máxima, UNE-EN12697-5.
- Se fabrican tres series de tres probetas con el equipo de impacto (UNE-EN 12697-30) aplicando una serie de 75 golpes por cada cara de la probeta. De cada una de las probetas se determina su densidad (INV E-733-07) y ensayos Marshall (UNE-EN 12697-34).
- Se fabrican tres series de cuatro probetas con el equipo de impacto (UNE-EN 12697-30) aplicando una energía de 50 golpes por cada cara de la probeta. De cada una de las probetas se determina su densidad (UNE-EN 12697-6), contenido de vacíos (INV E-736-07) y ensayo de sensibilidad al agua (UNE-EN 12697-12, tracción indirecta).

6.2. DOSIFICACIÓN Y AJUSTE DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

Al realizar todos los ensayos anteriormente mencionados se determina que la mezcla presenta una resistencia baja, con riesgos a que se presenten deformaciones plásticas, por lo que se procedió hacer una modificación de la curva granulométrica aumentando el esqueleto mineral, esto con el fin de facilitar el contacto entre partículas.

Dentro del estudio realizado se analizaron 3 tipos de mezclas bituminosas en caliente tipo P – 401 con las siguientes variantes:

- Mezclas P – 401 de referencia. Los datos obtenidos en el estudio de esta mezcla servirán para determinar el grado de mejora que se produce en los otros dos tipos de mezclas modificadas con polímeros.
- Mezcla P – 401 con un 7% de polímeros sobre el peso del betún. Mezcla con mayor resistencia las deformaciones plásticas según la ficha técnica.
- Mezcla P – 401 con un 11% de polímeros sobre el peso del betún. Mezcla con mayor resistencia las deformaciones plástica y módulo de rigidez más elevado.

A continuación se realizan los ajustes de la curva granulométrica siendo la dosificación en frío empleada para la composición de la mezcla que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Dosificación de mezcla.

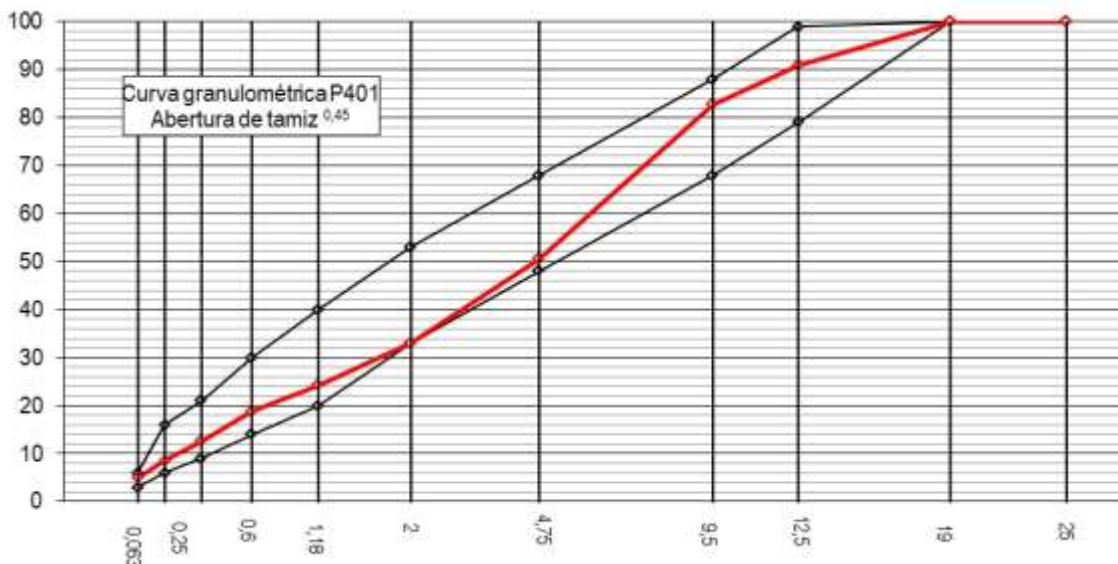
Tipo	P401 referencia	P-401 7% polímeros	P-401 11% polímeros
Arena 0/5 mm Orinoco	17,9	17,9	17,9
Ferrillo 0/22mm	60,4	60,4	60,4
Ferrillo 5/20 mm Cribado (1)	14,2	14,2	14,2
Cemento	2	2	2
Betún (2)	5,5	5,1	4,9
Polímeros		0,4	0,6

(1) Ferrillo cribado para corregir la curva granulométrica final.

(2) Betún al 0,3% sobre el peso de betún

Luego de ver la dosificación anterior, se puede observar la curva granulométrica corregida en la Figura 5. Donde en el eje “y” está representado el porcentaje que pasa y en la abscisa la abertura de los tamices.

Figura 5 Curva granulométrica corregida.



Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente.

6.3. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA

Después de haber realizado los ensayos de tanteo iniciales de las mezclas, se procede a desarrollar los ensayos de caracterización para las tres dosificaciones de mezclas mencionadas. Los ensayos realizados fueron los que se indican a continuación.

6.3.1. Densidad Máxima.

Se realiza el ensayo Gravedad específica máxima teórica y densidad de mezclas asfálticas para pavimentos (INV E-735-07) con una muestra bituminosa inconsistente, los resultados obtenidos son los que se evidencian en la tabla 4.

Tabla 4. Densidad máxima.

Mezcla	Densidad máxima, (kg/cm ³)
Referencia	2475
7% polímeros	2465
11% polímeros	2455

Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente. informe1511051

6.3.2. Densidad de probetas y Contenido de vacíos

Se realizaron los ensayos INV E- 733-07 e INV E-736-07, las probetas fabricadas con el compactador de impacto donde se le aplicaron una energía de 75 golpes por cada cara de la probeta. La densidad se determina por el procedimiento de superficie saturada seca, teniendo en cuenta para el cálculo del porcentaje de vacíos la densidad máxima obtenida en cada caso. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 5.

Tabla 5. Densidades y contenido de vacíos

Mezcla	Densidad aparente, (Kg/cm ³)	Vacíos en mezcla, (%)	Vacíos en áridos, (%)	Vacíos rellenos, (%)
Referencia	2366	4,4	16,8	73,7
7% polímeros	2385	3,2	15,7	79,8
11% polímeros	2386	3,8	16,9	77,5

Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente. informe1511051

En donde se puede observar según los resultados que la mezcla de referencia presenta un porcentaje mayor de vacíos que las mezclas modificadas con los polímeros, lo cual indicia que la adición de estos polímeros hace que las partículas que componen la mezcla se comporten más uniforme.

6.3.3. Rigidez.

El ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas (INV E-749-07) se realiza con probetas fabricadas con el compactador de impacto (UNE-EN 12697-26) aplicando una energía de 75 golpes por cada cara de la probeta, siguiendo la Norma de tracción indirecta y a una temperatura de 20°C. En la tabla 6 se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 6. Módulo resiliente

Mezcla	Módulo medio, MPa	Módulo ajustado, MPa
Referencia	2167	2241
7% polímeros	7020	7199
11% polímeros	8717	8963

Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente. informe1511051

Según los resultados que se pueden ver en la Tabla 6, se puede decir que la adición de estos polímeros incrementa el módulo resiliente de la mezcla, permitiendo así que esta tenga un mejor comportamiento ante los efectos a los cuales va a estar sometido el pavimento.

6.3.4. Ensayo Marshall

Se realiza el ensayo de resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall (INV E-748-07) con probetas fabricadas con el compactador de impacto (UNE-EN 12697-30) aplicando una energía de 75 golpes por cada cara de la probeta, efectuando la rotura a una temperatura de 60°C. El resultado de resistencia Marshall y deformación se obtienen tras analizar las curvas resultantes y efectuar el cálculo siguiente:

- Estabilidad Marshall de proyecto: Resistencia en kgf. Corregido al 95% de la estabilidad máxima.
- Deformación Marshall: deformación corregida desde los 50 kgf. Hasta el 95% de la resistencia máxima Marshall.

Los resultados se encuentran en la Tabla 7 La cual se encuentra a continuación.

Tabla 7. Resultados obtenidos del ensayo Marshall

Mezcla	Densidad, Kg/m ³	Estabilidad, kgf	Deformación, mm
Referencia	2369	7,1	4,1
7% polímeros	2389	15,6	2,9
11% polímeros	2393	18,4	2,8

Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente. informe1511051

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que al aumentar el porcentaje de polímeros disminuyen las deformaciones.

6.3.5. Ensayo de sensibilidad al agua

En el ensayo de evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta (INV E-725-07) se fabrican 2 series de 4 probetas con el compactador de impacto (UNE-EN 12697-30) aplicando una energía de 50 golpes por cada cara de la probeta. Una de las series se sumerge en agua durante 72 horas a 40°C y la otra se mantiene al aire, realizando la rotura de todas las probetas (agua y aire) a una temperatura de 15°C. En la Tabla 8 se observan los resultados obtenidos.

Tabla 8. Resultados Ensayo sensibilidad al agua

Mezcla	Densidad aparente, kg/m ³	Resistencia aire, ITS MPa	Resistencia agua, ITS MPa	Resistencia conservada, ITS%
Referencia	2373	2,078	1,711	82,4
7% polímeros	2378	2,630	2,509	95,4
11% polímeros	2363	2,901	2,525	87,0

Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente. informe1511051

6.3.6. Ensayo de rodadura.

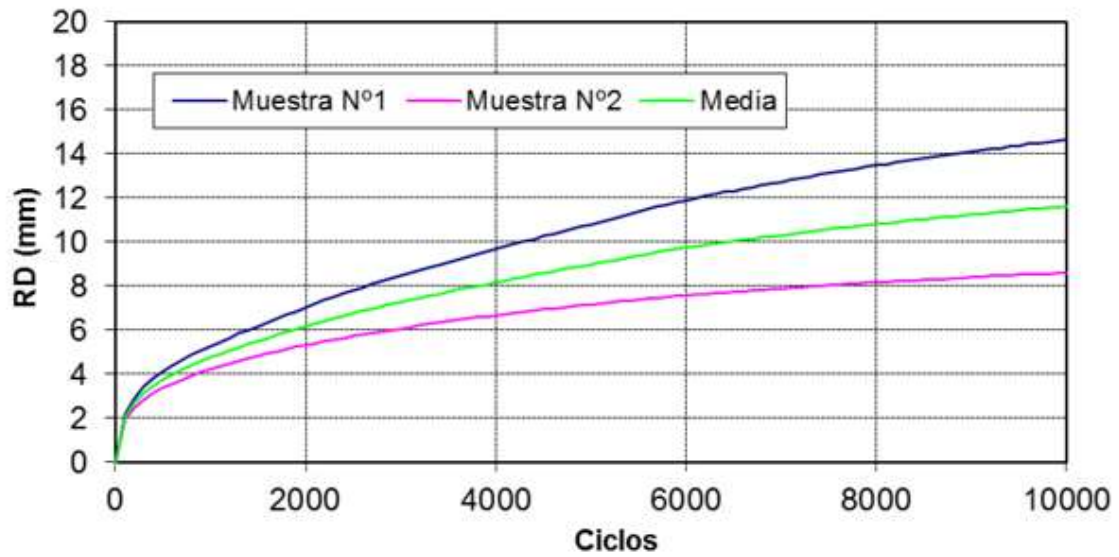
Se realizó el ensayo Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio (INV E-756-07), donde se fabrican dos probetas prismáticas con el compactador de rodillo (UNE-EN 12697-33) con un espesor de 60 milímetros. Este ensayo se efectúa con el equipo pequeño en aire, durante 10.000 ciclos a una temperatura de 60°C, los resultados se evidencian en la Tabla 9 que se muestra a continuación.

Tabla 9. Resultados obtenidos del ensayo INV-E756-07

Mezcla	Densidad aparente, kg/m ³	RD, mm.	PRD, %	Pendiente WTS
Referencia	2390	11,62	20,27	0,530
7% polímeros	2370	2,784	4,805	0,118
11% polímeros	2360	1,221	2,165	0,037

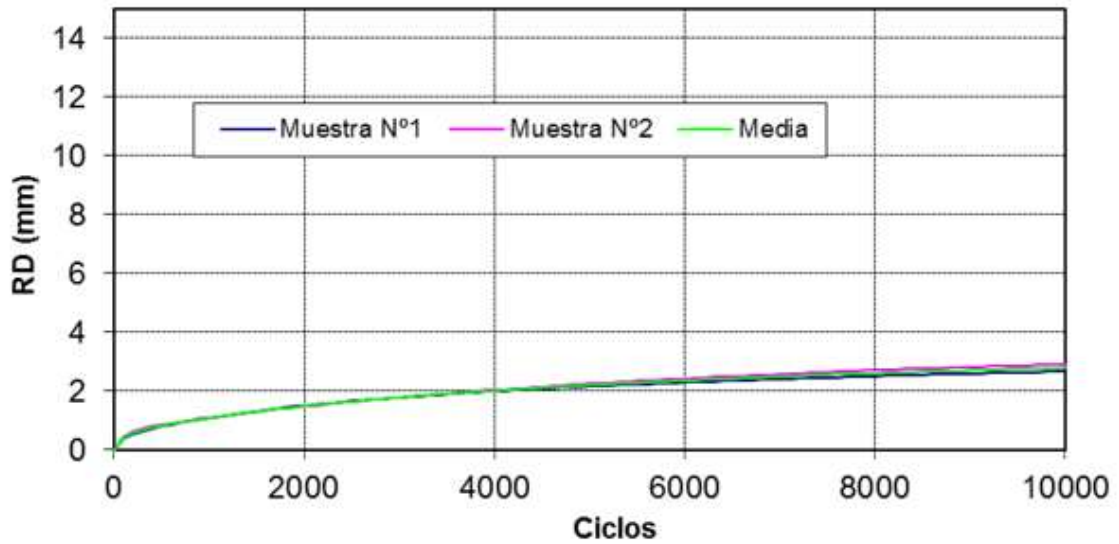
Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente. informe1511051

Figura 6 Deformación de la mezcla P-401 de referencia



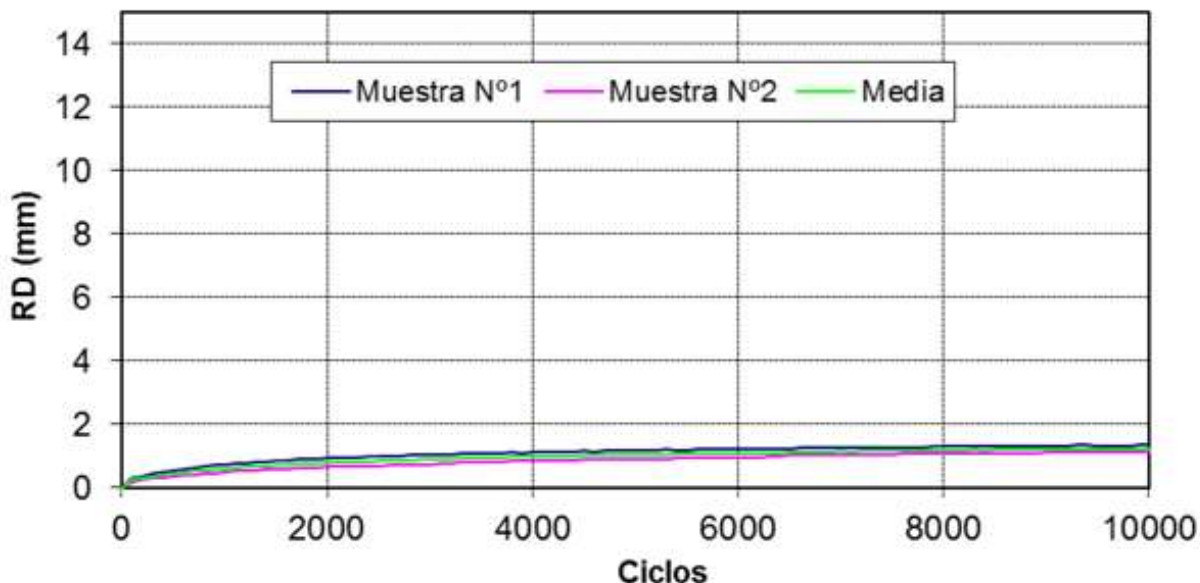
Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente. informe1511051

Figura 7 Deformación mezcla P-401 con 7% de polímero



Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente. informe1511051

Figura 8 Deformación mezcla P-401 con 11% de polímero



Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente. informe1511051

Con el ensayo de Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio se logra determinar la resistencia a la deformación plásticas de la mezcla asfáltica, en las Figuras 6, 7 y 8 se puede observar que al aumentar el porcentaje de polímeros las deformaciones plásticas disminuyen considerablemente con respecto a la mezcla de P-401 de referencia.

6.3.7. Ensayo de fatiga a 4 puntos.

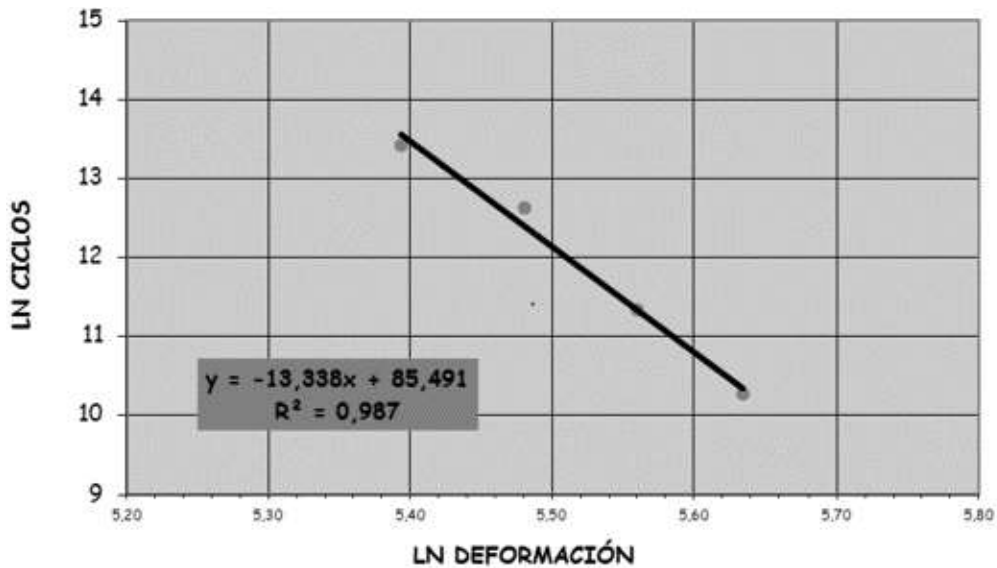
La determinación de las leyes de fatiga de la mezcla asfáltica compactada en caliente sometidas a flexión dinámica (INV-E783-07), se llevó a cabo con la fabricación de probetas prismáticas con el compactador de rodillo (UNE-EN 12697-33) con las siguientes dimensiones 380mm de longitud, 63 de ancho y 50 mm de alto. El ensayo se somete a diferentes amplitudes de deformación hasta determinar la ley de fatiga a una temperatura de 20°C.

Tabla 10. Ensayo de fatiga mezcla P-401 con 11% de polímeros

Identificación de probeta	T-2	T-5	T-6	T-4
Densidad aparente S.S.S (kg/m ³)	2359	2354	2357	2357
Angulo de desfase(°)	15,03	19,97	19,86	16,70
Rigidez inicial (MPa)	9518	8452	8209	9019
Rigidez final, (MPa)	4758	4225	4098	4509
Amplitud de deformación (µm.)	220	240	260	280
ciclos	665354	300253	82192	28434
Energía disipada acumulada (MJ/m ³)	83,46	51,18	16,25	5,42
Microdeformación (mm).	0,059	0,065	0,072	0,077
Duración del ensayo	6:09:44	2:46:52	0:45:43	0:15:51

Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente. informe1511051

Gráfica 1. Fatiga 4p mezcla P-401 11% de polímeros



Fuente. Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente. Informe 1511051

Con el fin de analizar los resultados obtenidos de los ensayos realizados para determinar las propiedades de las mezclas asfálticas tanto la convencional y la modificada con polímeros, se puede observar que la mezcla tomada como referencia muestra un comportamiento vulnerable a los posibles efectos del tránsito y el clima, presentando una resistencia baja lo cual ocasiona posibles deformaciones plásticas con el tiempo. De acuerdo a estos resultados es conveniente realizar una modificación del esqueleto mineral para así permitir mayor contacto entre partículas esto se logra modificando la curva granulométrica.

Al ver las Tablas 7 y 9 ensayo Marshall y de rodadura, respectivamente, donde se relacionan los resultados obtenidos de las tres mezclas, se puede establecer que la mezcla P-401 modificada con el 7% y el 11% de polímeros superan las exigencias mínimas especificadas por las normas de cada ensayo. Por lo que la mezcla de rodadura con el 7% de polímeros sobre el betún aporta valores buenos en las características generales, tanto en la sensibilidad al agua como en las deformaciones plásticas.

La mezcla intermedia con el 11% de polímeros sobre el betún aporta valores altos de resistencia que permiten un comportamiento estable frente a las deformaciones plásticas y un valor alto de ley de fatiga

De acuerdo con los resultados se pudo llegar a establecer que el 5,7% del ligante sobre el peso de los granulares es un contenido óptimo para la mezcla.

7. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos al implementar los polímeros se evidencia un aumento de rigidez, lo cual hace que la resistencia de la mezcla al ser sometida a cargas repetitivas.
- Entre las mezclas P-401 modificadas con el polímero se logra demostrar que a medida que aumenta el porcentaje del polímero la estabilidad de la mezcla aumenta, presentando así una resistencia mayor a las deformaciones plásticas.
- Con respecto al comportamiento de los vacíos se logró comprobar que no hubo irregularidad de acuerdo con el aumento de porcentaje de polímeros, lo cual indica que estos ocupan más vacíos presentando una mezcla más cerrada.
- Al establecer un contenido óptimo de ligante intermedio entre los valores analizados, se pudo evidenciar que al aumentar su proporción se reduce considerablemente su resistencia a las deformaciones, por lo que el empleo de los polímeros y el ajuste de las temperaturas de trabajo a esta tecnología propuesta ayudará a mejorar estos parámetros.
- Es importante resaltar que la utilización de mezclas modificadas con polímeros es una técnica que ayuda a mejorar la rigidez de la mezcla al igual que las

características mecánicas de la misma, esto se puede observar con los análisis de rodadura donde a mayor ciclo menos deformación con respecto a la mezcla de referencia, aumentando así la vida útil de las mezclas utilizando esta metodología, en resumen se puede asegurar que los daños causados por el tránsito van a disminuir con la utilización de esta mezcla.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Pérez Nieto María Angélica y López Daza Jenny Alejandra, (2012) Estado del conocimiento de asfaltos modificados en Colombia y su influencia en la pavimentación, Cartagena; En: Revista virtual de los programas de ingeniería, Universidad de San Buenaventura, Seccional Cartagena, Vol. 4, pp. 89-105.

[2] Instituto Nacional de Vías, (2012) Especificaciones técnicas capítulo 4, Art 450 - Pavimentos Asfálticos.

[3] Malo León (1892) Anales del instituto de ingenieros; (1892), ASFALTO, SU ORIGEN, SU PREPARACIÓN, SUS APLICACIONES. N°. 14. PP. 730-738.

[4] Wulf Rodríguez Fernando Andrés, (2008), Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero Valdivia, Chile, Trabajo de grado (Ingeniero Civil. Especialista en hidráulica mecánica de suelos), Universidad Austral de Chile.

[5] Valenzuela Mariana (2003), El asfalto, en la conservación de pavimentos, Valdivia, 97p. Trabajo de grado, Facultad de ingeniería, Universidad Austral de Chile.

[6] Moreno y Calvo (2014), Estudio mecánico del asfalto modificado con polímeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado, Bogotá, 14p. Facultad de ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia.

[7] Avellán Martha (2007), Asfaltos modificados con polímeros, trabajo de grado, Guatemala, 125p. Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

[8] Maila Paucar (2013), Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA).

[9] Loma Javier (2015) Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas bituminosas en caliente, para el proyecto Mantenimiento y Ampliación del aeródromo en el Grupo Aéreo del Oriente, Madrid, Elsan Grupo OHL.