

# ANÁLISIS DE PROPIEDADES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN PANAMÁ

## ANALYSIS OF PROPERTIES OF MODIFIED ASPHALT MIXES IN PANAMA

### Autores

Bredka Kaa<sup>1</sup>; Rogelio Mogoruzza<sup>1</sup> & Ivet Anguizola<sup>2\*</sup>

### Área

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería Civil  
– Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Departamento de Geociencias Aplicadas y Transporte  
– Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

### RESUMEN

Esta investigación propone la determinación y comparación de los beneficios técnicos y económicos que aportan los polímeros al cemento asfáltico, analizando su desempeño en mezclas asfálticas frente a las deformaciones por altas temperaturas y cargas. Se realizó un estudio a nivel de laboratorio para determinar la modificación del cemento asfáltico, utilizando polímeros comercialmente conocidos como Butonal NX 1129, Muestra A1 y Elvaloy, los cuales fueron mezclados mediante aplicaciones de diferentes dosis al asfalto AC-30 proveniente de la Refinería Texaco/Chevron. Entre las pruebas realizadas al asfalto modificado están: penetración (25 °C, 100 g, 5 s), viscosidad rotacional (135 °C y 175 °C), punto de ablandamiento y recuperación elástica torsional a 25 °C. Se analizaron las propiedades del cemento asfáltico las cuales mejoran significativamente con los polímeros, en especial la recuperación elástica torsional. Tomando en cuenta que en la ampliación Santiago – David se utilizaron polímeros para modificar las rodaduras, se obtuvieron muestras de diferentes tramos para realizar las probetas correspondientes y comparar los asfaltos modificados mediante el módulo resiliente de las mezclas asfálticas modificadas. Además, se examinó el comportamiento volumétrico y los parámetros Marshall para mezclas modificadas. En esta evaluación se observó que el módulo Resiliente Ade la mezcla se ve afectado por la granulometría, la densidad aparente de la mezcla, los vacíos y los polímeros, que reducen la susceptibilidad a la temperatura y a la deformación. Por último, se realizó un análisis económico que muestra la reducción de espesores en el diseño AAST-HO-93 de la carpeta asfáltica al aumentar la magnitud del módulo resiliente mediante la adición de polímeros, se compararon dichos resultados utilizando temperaturas de diseño de 25 °C y 40 °C, y utilizando valores de CBR mínimos y los reales provenientes del proyecto ejecutado.

### PALABRAS CLAVES

Asfaltos modificados; polímeros; mezclas asfálticas modificadas; módulo resiliente; temperatura; deformación; recuperación elástica torsional.

### ABSTRACT

This investigation proposes the determination and comparison of the technical and economic benefits that the polymers bring to asphaltic cement, by the analyzing of its performing in the asphaltic mixes against their deformation by high temperatures and loads. A laboratory study was made to determinate the asphaltic cement modification, by using polymers like: Butanol NX 1129, Muestra A1 and Elvaloy, which were added in different portions for the asphalt AC-30 that came from Refinería Texaco/Chevron. Among the tests conducted we can mention: penetration (25 °C, 100 g, 5 s), rotational viscosity (135 °C and 175 °C), softening point and torsional elastic recovery at 25 °C. The properties of the modificate asphaltic cement were analyzed which improve significantly with polymers, in special the torsional elastic recovery. Some samples were took from the enlargement of CPA Santiago–David, because they were using polymers to modify its roads, to obtain the corresponding test tubs and compare the modified asphalt by the modulus resilient of the asphaltic mix. In addition, the volumetric behavior and Marshall parameters for modified mixtures were examined. In this evaluation it was observed that the resilient modulus of the mix is affected by the particle size, the bulk density of the mixture, unfilled spaces and that polymers reduced temperature susceptibility to deformation. Finally, an economic analysis was performed, showing that the reduction in thickness in the the AASHTO-93 design in asphalt by increasing the magnitude of the resilient modulus by addition of polymers, these results were compared used design temperatures of 25 °C and 40°C, and the minimum values and real project values of CBR.

### KEYWORDS

Modificate asphalt; polymers; modificate asphalt mix; resilient modulus; temperature; deformation; elastic torsional recovery.

\* Corresponding author:  
ivet.anguizola@utp.ac.pa

## 1. Introducción

Los asfaltos modificados son producto de la mezcla entre el asfalto convencional con denominación AC-30 y un polímero [1]. El asfalto se modifica con la finalidad de mejorar sus propiedades físicas y reológicas, para disminuir la susceptibilidad a la temperatura, humedad y oxidación e incrementar la adherencia con el material pétreo.

A nivel mundial se utilizan los asfaltos modificados para reducir la deformación permanente de la carpeta asfáltica [2], así como para aumentar la resistencia al agrietamiento por fatiga y reducir el riesgo de agrietamiento térmico por baja y alta temperatura.

Actualmente las constructoras en Panamá están utilizando aditivos en el cemento asfáltico, aunque el MOP tome en cuenta estos asfaltos modificados dentro de sus Especificaciones Técnicas, no se han realizado estudios concretos de los mismos. Por ello, para seguir utilizando estos agentes modificadores es necesario conocer su efectividad, bondades y beneficios, aplicados a nuestro país tomando en cuenta las condiciones climáticas y las cargas generadas por el tránsito de vehículos.

Como objetivo principal se propone determinar las ventajas técnicas y económicas que ofrecen los polímeros a las mezclas asfálticas en Panamá, mediante la obtención de los módulos resilientes de las mezclas modificadas con diferentes agregados pétreos utilizados en el país. Además, se busca definir las virtudes económicas y técnicas de los asfaltos modificados utilizando polímeros disponibles en el mercado panameño.

Para analizar el comportamiento de los asfaltos modificados con distintas concentraciones de polímero se utilizaron las pruebas de punto de ablandamiento, viscosidad, penetración y recuperación elástica. Esto con el fin de obtener la dosis óptima de polímero que proporciona un cemento asfáltico modificado con propiedades mejoradas, que cumpla con las especificaciones técnicas del MOP, sea económico y brinde pavimentos flexibles de excelente calidad y durabilidad al país.

Al realizar las comparaciones entre las mezclas asfálticas modificadas fue necesario un

parámetro que simule las condiciones a las que estará sometida la carpeta asfáltica, es decir, carga repetitiva para analizar la deformación del material y variación de temperatura. El parámetro utilizado es el módulo resiliente y fue obtenido mediante la prueba de tracción indirecta.

## 2. Metodología

Este proyecto de investigación posee un diseño prospectivo, experimental y analítico. La ejecución del mismo se llevó a cabo en tres etapas, descritas posteriormente, donde se utilizaron el Laboratorio de Materiales del MOP y el Laboratorio Experimental de la Constructora Norberto Odebrecht para realizar la experimentación.

La primera etapa de esta investigación conllevó la recolección de información y estudios referentes al tema. A su vez se contactó, por medio del MOP, a los proveedores y contratistas para que facilitaran las muestras de los tipos de polímeros que modifican el AC-30, y los agregados pétreos correspondientes a diseños aprobados por el MOP.

### 2.1 Modificación del cemento asfáltico

El asfalto base utilizado para las siguientes modificaciones corresponde a la clasificación AC-30 proveniente de la Refinería Texaco-Chevron/ Tanque 2174, el cual cumple con las especificaciones técnicas del MOP [3]. Entre los polímeros utilizados se encuentran:

#### 2.1.1 Butonal NX 1129 (SBR)

El producto Butonal NX 11 29 es una dispersión de polímero de látex diseñado para ser mezclado con el cemento asfáltico y producir un aglutinante altamente elástico y estable.

Esta modificación se realiza mediante la adición del polímero SBR (Butonal NX 1129) a 1%, 2% y 3%; fue agitado a una temperatura constante de 175 °C durante 15 minutos. Se utilizaron 500 g de Asfalto AC-30. Este asfalto corresponde a la clasificación Tipo II.

#### 2.1.2 Muestra A1 (terpolímero)

La muestra A1 es un terpolímero etileno – éster acrílico – glicedil metacrilato, el cual es

nuevo en el mercado y no se cuenta con estudios anteriores ni utilización del mismo.

Esta modificación se realiza mediante la adición del polímero A1 (pellets) a 0.5%, 1%, 1.5% y 2%; agitando a una temperatura constante de 175 °C por 10 minutos. Se utilizaron 250 g de Asfalto AC-30.

Luego de algunos minutos de agitación se le agrega la cantidad estipulada de ácido polifosfórico que se emplea como catalizador que reacciona desarrollando un encadenamiento químico entre el polímero y el asfalto. Se agita por otros 5 minutos.

### 2.1.3 Elvaloy (terpolímero)

El polímero Elvaloy RET es un terpolímero elastomérico reactivo (RET, por sus siglas en inglés), especialmente formulado para la modificación de asfalto, para mezclas calientes y emulsiones modificadas. Tiene un excelente desempeño para alto tráfico, buenos resultados ante temperaturas extremas, alta resistencia al ahuellamiento y fatiga. Esta modificación se realiza mediante la adición del Elvaloy (pellets) igual que se realizó con la muestra A1. También se le agregó la cantidad estipulada de ácido polifosfórico, empleado como catalizador.

Paulatinamente, tomando como referencia diseños de mezclas asfálticas aprobados por el MOP, se recolectaron muestras de asfálticas modificadas con polímeros utilizadas actualmente por diferentes contratistas estatales. Los resultados obtenidos en las pruebas de los agregados pétreos realizados en el Laboratorio de Materiales del MOP y los datos suministrados por los contratistas en la modificación del asfalto y de mezcla asfáltica fueron utilizados como referencia. A cada mezcla se le determinó el porcentaje de asfalto y la densidad máxima, y a las probetas se determinaron los vacíos de aire, los vacíos de agregado mineral y los vacíos llenos de asfalto. De las mezclas obtenidas se compactaron una determinada cantidad de probetas y se les determinó su densidad aparente, volumen, diámetro y espesor.

### 2.2 Determinación del módulo resiliente

Los materiales que conforman la mezcla asfáltica no son elásticos porque acumulan deformaciones permanentes después de aplicada

la carga, para considerar la mezcla asfáltica un material elástico es necesario aplicar cargas pequeñas en comparación con la resistencia del material y, además, realizarlo de forma cíclica para que la deformación sea aproximadamente recuperable en su totalidad.

El módulo resiliente es la relación entre el esfuerzo desviador axial repetido aplicado y la deformación unitaria recuperable medida.

Para determinar el módulo resiliente de las mezclas asfálticas modificadas se les realiza la prueba de tracción indirecta, en la cual a las probetas se les aplican cargas cíclicas hasta que se logra una deformación de 5 micrómetros. Dicha prueba se realiza para diferentes temperaturas, con el fin de determinar qué influencia tiene dicho factor en el módulo resiliente de las mezclas asfálticas modificadas. El módulo resiliente es requerido para evaluar las propiedades y resistencias de las mezclas.

Una vez obtenidos los resultados experimentales, se clasificaron de forma que facilite su interpretación y síntesis conformando la tercera etapa de la investigación. Utilizando métodos estadísticos y de probabilidad se plantearon las conclusiones que satisfacen los objetivos estipulados. Además, se realizó la evaluación económica a corto plazo tomando en cuenta los módulos obtenidos para mezclas modificadas y su influencia en el diseño de la carpeta asfáltica.

## 3. Análisis de resultados

### 3.1 Cemento asfáltico modificado

Una vez se obtuvieron las muestras modificadas por cada polímero se sometieron a las pruebas de laboratorio, descritas posteriormente, con el fin de determinar las propiedades mecánicas mejoradas por la adición de los polímeros. Se analizó el comportamiento del polímero en el cemento asfáltico base y el comportamiento del asfalto modificado frente a la variación de la dosificación de polímero.

#### 3.1.1 Penetración a 25 °C

Mediante el ensayo de penetración puede medirse la consistencia del asfalto. Es un método antiguo y empírico, en el cual se basó la clasificación de los cementos asfálticos en grados normalizados.

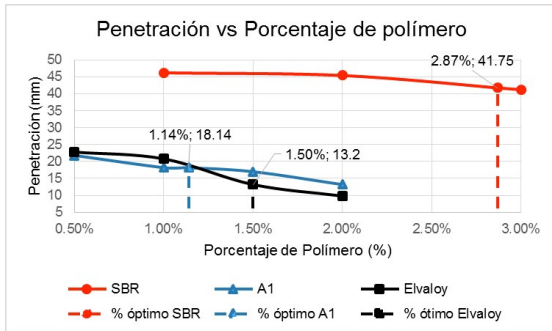


Figura 1. Gráfica de resultados de penetración vs porcentaje de polímero.

En la figura 1 se deduce que el polímero A1 presenta menor penetración para menores dosis de polímero, mientras que el polímero Elvaloy presenta menor penetración para dosis mayores de polímero.

### 3.1.2 Punto de ablandamiento

Este método cubre la determinación del punto de ablandamiento mediante un anillo relleno de cemento asfáltico y una bola inmersos en agua destilada que aumenta a temperatura constante en un rango de 30 °C a 80 °C. Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización de este ensayo se describen con detalle en los métodos AASHTO T53 y ASTM D36.

En la figura 2 se deduce que el polímero A1 con mayores concentraciones mejora significativamente el comportamiento del ligante frente a altas temperaturas. Mientras que el polímero Elvaloy presenta mejor comportamiento con dosis menores a 1.25%. El polímero Elvaloy presenta mayor resistencia a la temperatura en su porcentaje óptimo.

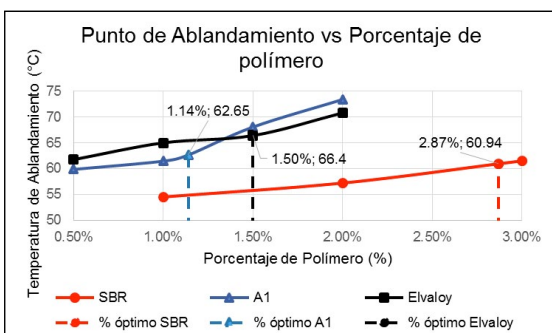


Figura 2. Gráfica de resultados de punto de ablandamiento vs porcentaje de polímero.

### 3.1.3 Viscosidad rotacional

Consiste en un cilindro rotacional coaxial, que mide la viscosidad por medio del torque para rotar un husillo (spindle) sumergido en asfalto caliente a velocidad constante.

### 3.1.4 Recuperación elástica torsional

El ensayo de recuperación elástica torsional determina la capacidad de recuperación elástica de los materiales asfálticos modificados. La prueba consiste en inducir una deformación angular mediante un cilindro de acero de dimensiones específicas, inmerso en la muestra de cemento asfáltico modificado a una temperatura de 25 °C, un esfuerzo de torsión del cilindro en un eje haciendo un giro de 180° y después de 30 minutos se determina el ángulo recuperado por el cilindro al soltarse el esfuerzo aplicado.

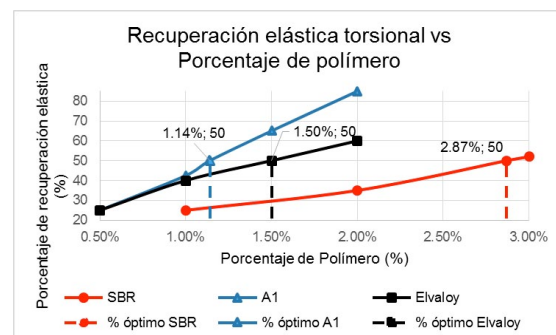


Figura 3. Gráfica de resultados de RET vs porcentaje de polímero.

En la figura 3 se deduce que el polímero A1 mejora notablemente la recuperación elástica torsional del asfalto, siendo una de las propiedades más significativas.

### 3.2 Módulo resiliente de mezclas asfálticas modificadas

Una vez se confeccionaron las probetas de las muestras y se sometieron a la prueba de tracción indirecta, se presentan los resultados del módulo resiliente de las mezclas asfálticas modificadas denominadas: Mezcla 1 (Elvaloy), Mezcla 2 (Elvaloy) y Mezcla 3 (SBS 411).

La prueba de tracción indirecta se realizó a temperaturas de 25 °C y 40 °C, para observar el comportamiento del módulo resiliente de las mezclas asfálticas modificadas frente a distintos factores.

Los factores relacionados con las variaciones del módulo resiliente de las mezclas asfálticas estudiadas son [4]: la granulometría de la mezcla de agregados, la temperatura de realización del ensayo de tracción indirecta, las propiedades del asfalto modificado utilizado (se analizará realizando una comparativa entre las mezclas modificadas con Elvaloy y la mezcla modificada con SBS 411) y las variaciones en las propiedades volumétricas y gravimétricas de la mezcla asfáltica.

### 3.2.1 Variación del módulo resiliente con respecto a la temperatura

Al variar la temperatura del ensayo se demuestra que es uno de los factores a tener en cuenta al realizar la prueba de tracción indirecta porque provoca variaciones en el módulo resiliente de las mezclas asfálticas ensayadas.

Tabla 1. Resultados de módulos a 25 °C y 40 °C

Descripción	Cantidad de datos	Módulo a 25 °C (MPa)	Módulo a 40 °C (MPa)	Disminución (%)
Mezcla 1	3	4034.3	998.0	75.3
Mezcla 2	3	6286.7	1704.0	72.9
Mezcla 3	3	6561.3	2326.7	64.6

Se observa que en las mezclas modificadas con Elvaloy, el módulo resiliente disminuye entre un 72.9% y un 75.3%, mientras que la mezcla modificada con SBS 411 presenta una disminución de 64.6%. Esto se debe a las diferencias en los puntos de ablandamiento.

### 3.2.2 Variación del módulo resiliente con respecto a la granulometría

El agregado pétreo es el componente que se encuentra en mayor proporción dentro de la mezcla (94% - 95% normalmente), por lo que es necesario analizar si la mezcla de agregados tiene un efecto en la variación del módulo resiliente a 25 °C [5].

La mezcla 3 produce el módulo resiliente promedio más alto porque tiene un equilibrio aproximado entre las partículas gruesas y finas, esto produce mayor fricción interna, mejor confinamiento y resistencia ante las cargas.

Tabla 2. Distribución según el tamaño del agregado y resultados de módulos resilientes a 25 °C

Descripción	Agregado grueso (%)	Agregado fino (%)	Polvo mineral o Filler (%)	Cant. de datos	Módulo a 25 °C (MPa)
Mezcla 1	41	52.4	5.6	5	4632
Mezcla 2	49.9	41.8	8.3	22	5602
Mezcla 3	46.3	48	5.7	23	7098

### 3.2.3 Variación del módulo resiliente con respecto a las propiedades volumétricas y gravimétricas de la mezcla

De los resultados se desprende que el módulo resiliente se incrementa al aumentar la densidad aparente de la probeta, debido al peso y confinamiento del material que tiene la mezcla.

Al disminuir los vacíos de aire aumenta el módulo resiliente porque la mezcla tiene menos espacios y soporta mayores cargas.

Los vacíos de agregado mineral dependen directamente de los vacíos de aire, por lo que al aumentar los mismos, disminuye el módulo resiliente.

Al aumentar los vacíos llenos de asfalto se incrementa el módulo resiliente ya que el asfalto ocuparía, en teoría, los vacíos de aire que tiene la mezcla.

### 3.2.4 Comparativa de mezclas modificadas con Elvaloy vs SBS 411

De la comparativa utilizando los resultados de los módulos resilientes promedios, destaca que al comparar las mezclas 1 y 2, modificadas con el mismo polímero, los módulos promedios a 25 °C varían en un 21%, y a 40 °C varían en un 41.3%, esto se debe a las fluctuaciones en las densidades y los vacíos al comparar ambas mezclas.

Mientras que al comparar la mezcla 3 con respecto a las mezclas 1 y 2, se obtienen variaciones de 53% y 27% a 25 °C, y de 57% y 27% a 40 °C respectivamente, debido principalmente a las diferencias en las propiedades de los asfaltos modificados utilizados (penetración, viscosidad, punto de ablandamiento y recuperación elástica).

## 4. Evaluación económica

Como complemento de esta investigación se realizó la evaluación económica del diseño

de pavimento flexible utilizando asfaltos modificados con polímeros.

Para el diseño de pavimento flexible se ha utilizado el AASHTO-93 [2].

Al comparar los espesores de carpeta convencional y carpetas modificadas a 25 °C con CBR mínimos se deduce que la mezcla 2 reduce el espesor en 26.7% y la mezcla 3 en 35.7%.

Al utilizar CBR reales, la mezcla 2 reduce el espesor en 30%, y la mezcla 3 en 35.7%.

Esto denota que al aumentar el módulo resiliente de la carpeta se puede reducir significativamente el espesor de la rodadura y al mismo tiempo reducir el costo de la carpeta asfáltica, más las capas inferiores al pavimento mantienen su espesor.

Cabe mencionar que en cada diseño solo se ha variado el asfalto utilizado, se utilizan los módulos resilientes obtenidos y se han fijado los CBR (mínimos y reales) de la capa base, sub-base y sub-rasante para observar la variación de espesor de la carpeta asfáltica solamente.

El diseño de pavimento se realizó a temperaturas de 25 °C y 40 °C. Los CBR mínimos, según el MOP, son: 80% para la capa base, 30% para la subbase y una subrasante de 5%.

de mezclado y compactación se elevan considerablemente.

Por lo tanto, se recomienda utilizar polímeros para modificar el asfalto convencional AC-30 con el fin de aumentar la vida útil, reducir los espesores de la carpeta asfáltica y los costos de los pavimentos en Panamá.

Además, modificar y verificar los estándares de calidad de todo asfalto que sea utilizado en el territorio panameño con el fin de mejorar su rendimiento frente a las altas temperaturas a las que puede llegar la carpeta asfáltica.

El módulo resiliente de las mezclas asfálticas modificadas se ve impactado por la granulometría de la mezcla de agregados, por las propiedades del agente modificador, por la temperatura del ensayo de tracción indirecta y por las variaciones que se puedan producir en las propiedades volumétricas y gravimétricas de la mezcla asfáltica.

A manera de recomendación, se debe diseñar en Panamá utilizando un módulo resiliente acorde a la temperatura máxima a la que puede estar sometido el pavimento para disminuir la frecuencia de los mantenimientos realizados.

Tabla 3. Resultado de espesores del diseño de pavimento

Espesores de diseño de pavimento (m)				
		Carpeta asfáltica	Capa base	Capa sub-base
CBR Mínimos	Convencional	0.19	0.20	0.32
	Mezcla 2 a 25 °C	0.15	0.20	0.32
	Mezcla 2 a 40 °C	0.24	0.20	0.32
	Mezcla 3 a 25 °C	0.14	0.20	0.32
	Mezcla 3 a 40 °C	0.21	0.20	0.32
CBR reales	Mezcla 2 a 25 °C	0.10	0.20	0.38
	Convencional	0.13	0.20	0.38
	Mezcla 3 a 25 °C	0.14	0.15	0.14
	Convencional	0.19	0.15	0.14

### 5. Conclusiones y recomendaciones

La comparación de los resultados de los tres polímeros utilizados indica que todos cambian y mejoran significativamente las propiedades físicas y mecánicas del cemento asfáltico base AC-30, destacando que las temperaturas

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Laboratorio de Suelos del Ministerio de Obras Públicas - MOP y al Laboratorio de Calidad de la Constructora Odebrecht por la utilización de sus instalaciones. Así mismo a los contratistas CUSA y BAGATRAC, S.A. por la información brindada.

### REFERENCIAS

- [1] AASHTO; AGC; ARTBA, «Guía de especificaciones para Asfalto Modificado con Polímeros,» EUA, 1992.
- [2] AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials, «Guide for Design of Pavement Structures,» Washington, D.C., 1993.
- [3] Ministerio de Obras Públicas, «Manual de especificaciones técnicas. Capítulo 24. Carpeta de Hormigón Asfáltico,» Panamá.
- [4] López y David, «Variabilidad del módulo de resiliente de una mezcla asfáltica MDC-2 dentro de la ventana de diseño propuesta pro M. Witezak,» Manizales, 2008.
- [5] P. Garnica Anguas, H. Delgado Alamilla, J. A. Gómez López, S. Alonso Romero y H. A. Alarcón Orta, «Aspectos de diseño volumétrico de mezclas asfálticas,» Instituto Mexicano de Transporte, Sanfandilla, Qro, 2004.