

**IAG50-05-2013**  
**DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍAS**  
**DENSAS CON EL USO DE ASFALTOS MODIFICADOS**  
**DESEMPENHO DE MISTURAS ASFÁLTICAS DE GRADUAÇÃO DENSA**  
**COM A UTILIZAÇÃO DE LIGANTES MODIFICADOS**

Ing. Adriana Vargas Nordbeck, Ph.D., MBA  
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
adriana.vargasnordbeck@ucr.ac.cr

Ing. José Pablo Aguiar Moya, Ph.D.  
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
jose.aguiar@ucr.ac.cr

Ing. Fabricio Leiva Villacorta, Ph.D., MBA  
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
fabricio.leiva@ucr.ac.cr

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, Ph.D.  
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
luis.loriasalazar@ucr.ac.cr

## **Resumen**

El uso de asfaltos modificados es cada vez más común en todo el mundo. El porcentaje de mezcla asfáltica producida con asfaltos modificados ha crecido en los últimos años debido a todas las ventajas que la modificación del asfalto puede brindar a las mezclas, en cuanto a factores ambientales y económicos, mejora del desempeño, incremento de la vida útil y hasta para cumplimiento de especificaciones contractuales. El LanammeUCR se dio a la tarea de evaluar cuatro mezclas asfálticas de granulometría densa: dos clasificadas finas y las otras dos clasificadas como gruesas, con dos tamaños nominales máximos distintos (12.5mm y 9.5mm) que son consideradas mezclas típicas en el país, mediante varios ensayos de desempeño. Los ensayos utilizados fueron: resistencia retenida a la tensión diametral, resistencia a la deformación permanente mediante el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), resistencia al agrietamiento mediante el ensayo de fatiga a flexotracción y módulo dinámico de la mezcla. Para todos los casos, el modificador utilizado fue un polímero SBR (Estireno-Butadieno-Caucho), que actualmente se está utilizando en algunos proyectos a nivel nacional. Los resultados de este estudio mostraron que la modificación del asfalto con polímeros puede utilizarse en mezclas típicas de Costa Rica para mejorar el desempeño de los pavimentos asfálticos.

## **Resumo**

O uso de asfaltos modificados é cada vez mais comum em todo o mundo. A porcentagem de misturas asfálticas com asfalto modificados tem crescido nos últimos anos, devido a todas as vantagens que a modificação do asfalto pode proporcionar às misturas asfálticas, em termos de fatores ambientais e econômicos, melhoras do desempenho, aumento da vida útil y até o cumprimento de especificações do contrato. O LanammeUCR avaliou quatro misturas asfálticas de graduação densa: duas classificadas como finas e outras duas classificadas como grossas, com dois tamanhos máximos nominais diferentes (12.5 mm e 9.5 mm) que são consideradas misturas típicas no país, através de vários ensaios de desempenho. Os ensaios utilizados foram: resistência à tração retida por umidade induzida, a resistência à deformação permanente por meio do simulador APA (Asphalt Pavement Analyser), a resistência à fissuração através do ensaio de fadiga a flexão de barras prismáticas ou vigas e módulo dinâmico de misturas asfálticas. Para todos os casos, o modificador utilizado foi um polímero SBR (Estireno-Butadieno-Borracha), que atualmente está sendo usado em alguns projetos no país. Os resultados deste estudo mostraram que as misturas de asfalto modificado com polímeros podem ser usadas nas misturas asfálticas da Costa Rica para melhorar o desempenho dos pavimentos asfálticos.

## **INTRODUCCION**

El uso de asfaltos modificados es cada vez más común en todo el mundo, gracias a que la modificación mejora el desempeño del pavimento y extiende su vida útil comparada con la de pavimentos asfálticos convencionales (Von Quintus et al, 2001; Stroup-Gardiner y Newcomb, 1995). El asfalto es un material viscoelástico que posee características altamente dependientes de la temperatura, pues se comporta más como un sólido a bajas temperaturas y como un líquido a altas temperaturas. La adición de polímeros modificantes hace posible que el rango de temperaturas ideal en el cual la combinación de estas características es tal que el pavimento puede operar sin sufrir fallas sea mayor (Illinois Department of Transportation, 2005). Además, el uso de polímeros tiende a mejorar la adherencia del asfalto con los agregados, así como el recubrimiento de las partículas, lo cual resulta en una mayor durabilidad.

El polímero SBR (Estireno-Butadieno-Caucho) ha sido usado ampliamente como un modificador. Este se clasifica como un elastómero que tiene una alta respuesta elástica y por lo tanto es capaz de resistir la deformación permanente ya que puede extenderse y recuperar su forma original, además de tener mayor resistencia a la tensión y la habilidad de recuperar su condición inicial una vez removida la carga aplicada (Roberts et al, 2009).

Aunque estos beneficios se han documentado y la práctica de modificación con polímeros se ha adoptado ampliamente a nivel mundial, en Costa Rica se cuenta con poca experiencia en el tema, lo cual hace que dichas ventajas no sean lo suficientemente aprovechadas. Por esta razón, es necesario estudiar el comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con polímeros diseñadas con materiales propios del país y para granulometrías usadas típicamente en las carreteras nacionales.

## OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo fue comparar el desempeño en laboratorio de mezclas asfálticas con y sin la adición de polímero modificante.

## METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo planteado, se evaluaron cuatro mezclas asfálticas de granulometría densa: dos clasificadas finas (DF) y las otras dos clasificadas como gruesas (DG), con dos tamaños nominales máximos distintos (12.5mm y 9.5mm) que son consideradas mezclas típicas en Costa Rica. Cada una de las mezclas fue producida con y sin la adición del polímero SBR (Estireno-Butadieno-Caucho) y sometida a ensayos de resistencia retenida a la tensión diametral y el módulo resiliente asociado, resistencia a la deformación permanente mediante el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), resistencia al agrietamiento mediante el ensayo de fatiga a flexotracción y módulo dinámico.

## Diseños de mezcla

Todas las mezclas evaluadas en este estudio utilizaron la misma fuente de agregados y ligante asfáltico (AC-30). Las granulometrías de cada mezcla se muestran en la Tabla 1, mientras que las propiedades volumétricas se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 1: Granulometrías de las mezclas**

Malla (mm)	% Pasando			
	9.5 DF	9.5 DG	12.5 DF	12.5 DG
19.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12.5	100.0	100.0	93.4	95.6
9.5	94.7	94.4	85.8	76.2
4.75	75.1	50.2	64.1	50.1
2.36	60.0	38.2	47.4	33.4
1.18	47.0	27.9	33.0	21.9
0.600	37.0	20.1	22.2	14.9
0.300	25.3	13.7	15.1	10.4
0.150	15.6	8.5	9.3	6.4
0.075	8.9	4.9	5.4	3.8

**Tabla 2: Propiedades volumétricas de las mezclas**

Parámetro	% Pasando			
	9.5 DF	9.5 DG	12.5 DF	12.5 DG
% Asfalto	5.52	5.59	5.75	6.23
% VMA	13.526	13.42	12.9	15.7
% VFA	72.58	65.68	69.5	75.1
Polvo/Asfalto	1.79	0.95	1.3	0.8

La modificación del ligante asfáltico con el polímero se realizó a una temperatura de 160°C durante un mínimo de una hora. El porcentaje de polímero utilizado fue de 1.5%. Las mezclas modificadas utilizaron el mismo diseño de mezcla de las no modificadas.

## RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados para cada uno de los ensayos realizados.

### Resistencia retenida a la tensión diametral

El ensayo de resistencia retenida a la tensión diametral se realizó de acuerdo a la norma AASHTO T283. La Figura 1 muestra las tensiones diametrales promedio (con y sin acondicionamiento) y la resistencia retenida a la tensión diametral para cada una de las mezclas. Puede observarse como en general las mezclas no modificadas tuvieron mayores valores de tensión diametral, pero los resultados de la resistencia retenida a la tensión diametral fueron similares, y en todos los casos superaron 0.80, por lo que no hay indicación de que las mezclas sean susceptibles al daño por humedad.

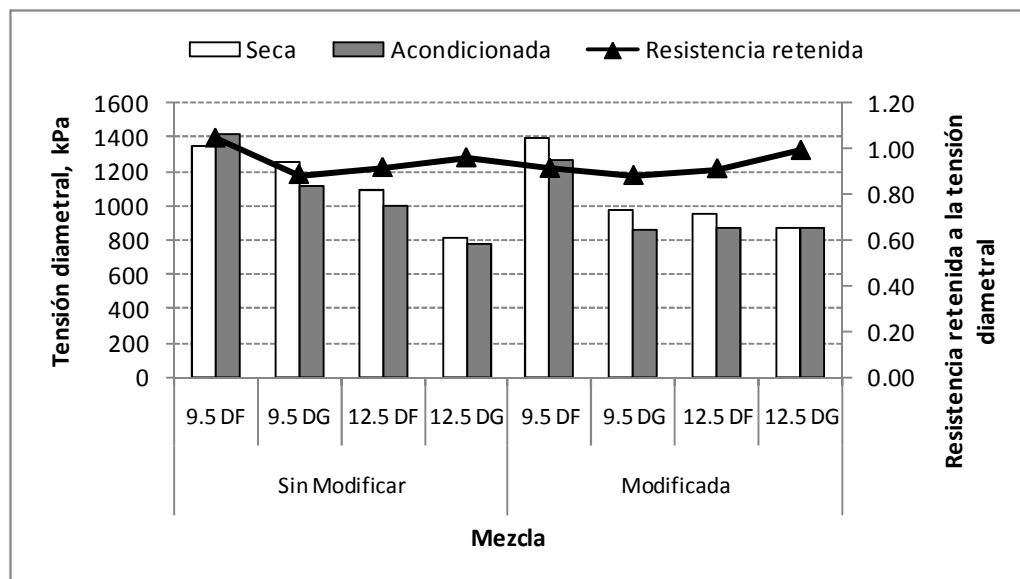
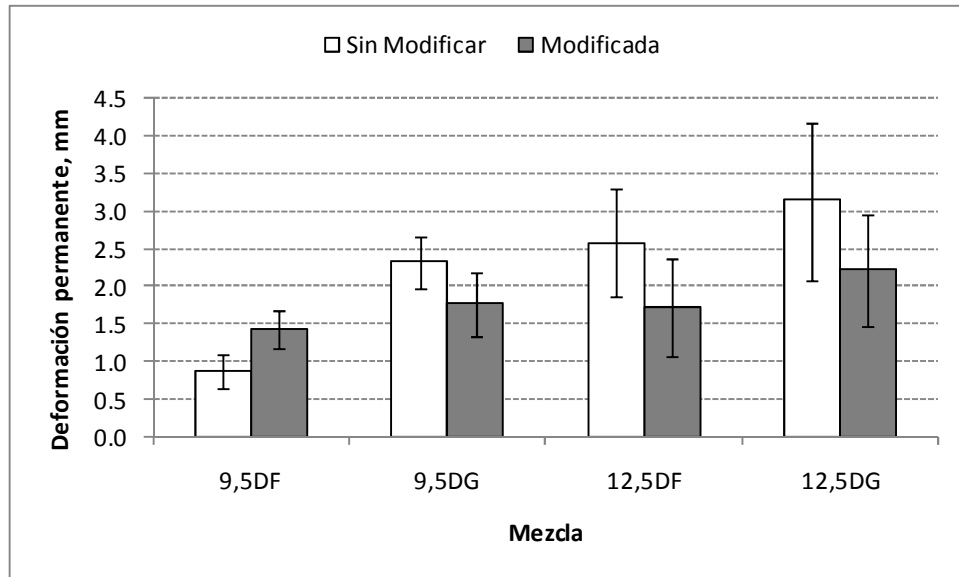


Figura 1: Tensión diametral y resistencia retenida a la tensión diametral

### Resistencia a la deformación permanente

La resistencia a la deformación permanente se evaluó por medio del Analizador de Pavimentos Asfálticos y de acuerdo a la norma AASHTO TP 63. La Figura 2 presenta las deformaciones promedio para cada una de las mezclas. Se aprecia cómo la adición de polímero tiende a disminuir el ahuellamiento en la mayoría de los casos. Un análisis de varianza con un nivel de significancia de 0.05 confirmó que el uso de polímero modificador produce cambios significativos en la resistencia a la deformación permanente de las mezclas, y que dichos cambios

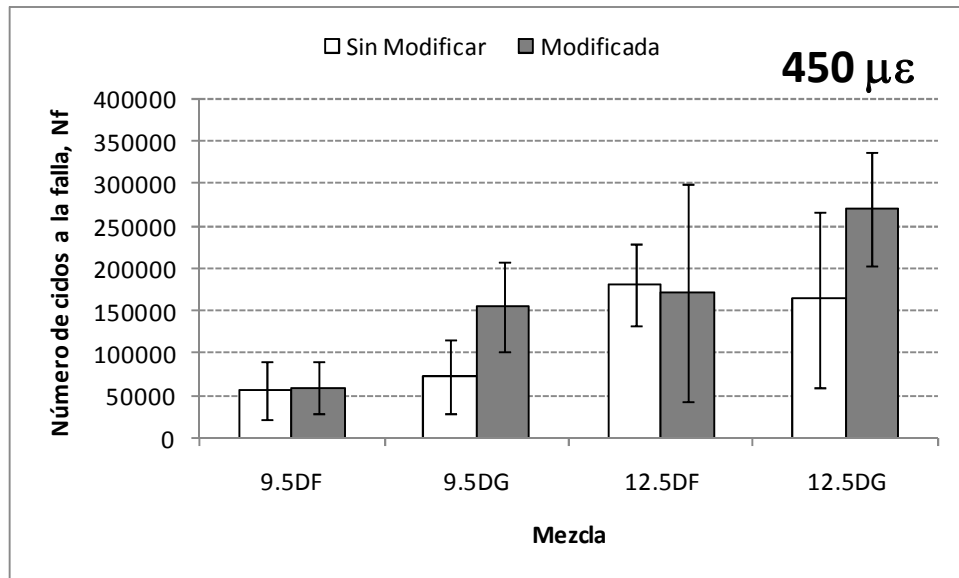
también dependen del tamaño máximo nominal y del tipo de granulometría de las mezclas. Cabe recalcar que con la excepción de las mezclas de 12.5 mm sin polímero, la deformación permanente promedio se mantuvo por debajo de los 2.5 mm, lo cual indica que las mezclas restantes pueden calificarse como altamente resistentes al ahuellamiento.



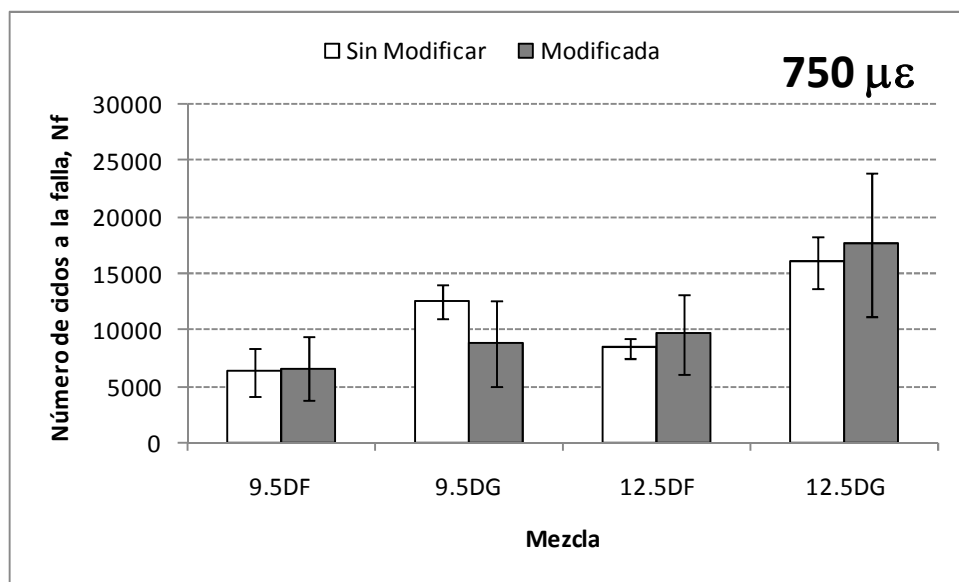
**Figura 2: Deformación permanente promedio**

### **Resistencia al agrietamiento por fatiga**

La resistencia al agrietamiento por fatiga se evaluó por medio del ensayo de fatiga a flexotracción conforme lo establecido por la norma AASHTO T 321 para dos niveles de deformación unitaria: 450 y 750  $\mu\epsilon$ . Las Figuras 3 y 4 muestran la cantidad promedio de ciclos a la falla ( $N_f$ ) para todas las muestras a ambos niveles de deformación. Se puede observar que existe una tendencia a mejorar la resistencia de las mezclas al agrietamiento por fatiga con la adición de polímero, pero al igual que en el caso de deformación permanente, dicho cambio depende también del tamaño máximo y granulometría de la mezcla.



**Figura 3: Número promedio de ciclos a la falla a 450  $\mu\epsilon$**

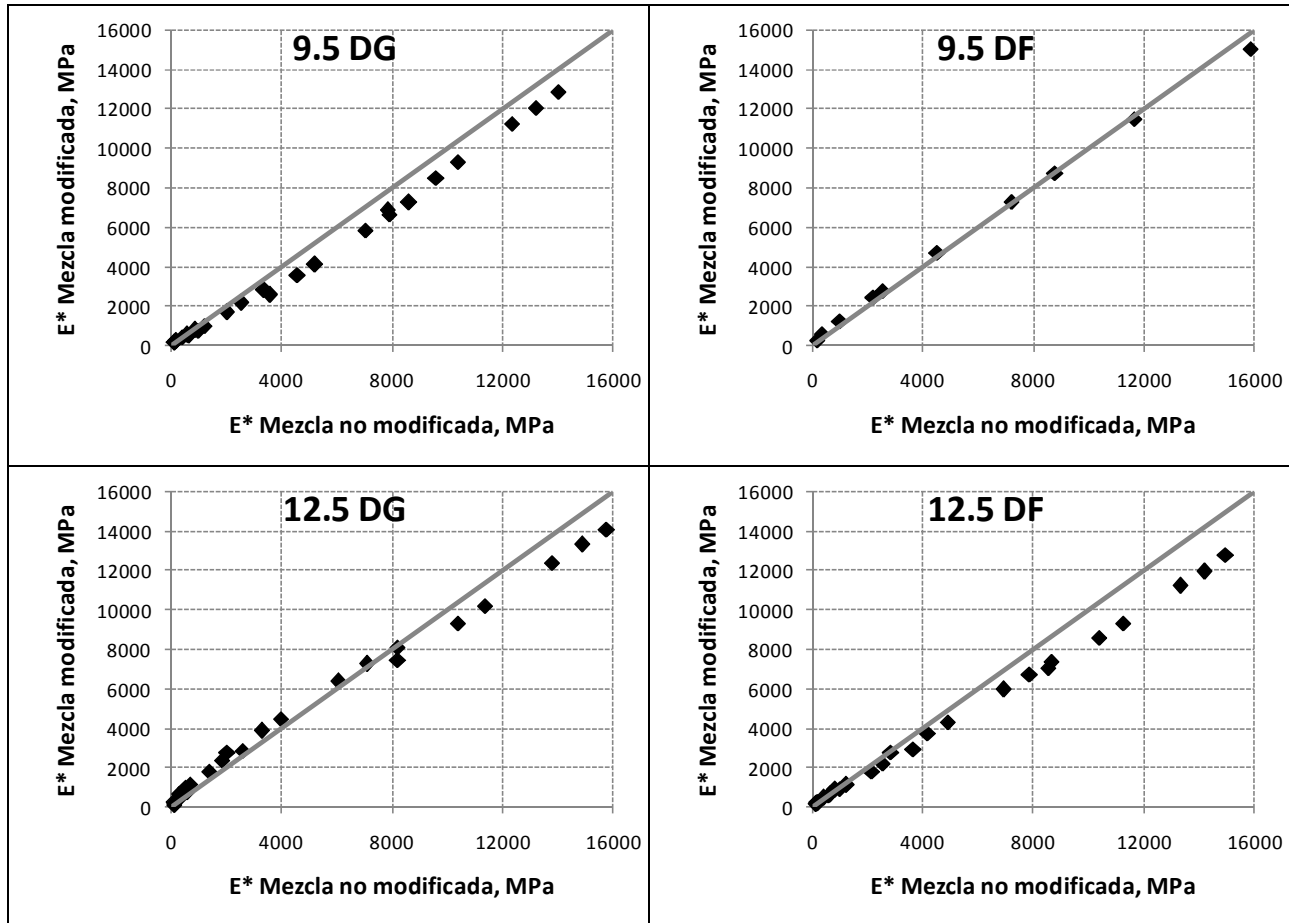


**Figura 4: Número promedio de ciclos a la falla a 750  $\mu\epsilon$**

## Módulo dinámico

El ensayo de módulo dinámico ( $E^*$ ) se realizó de conforme a la norma AASHTO TP 62, la cual utiliza seis frecuencias (0.1, 0.5, 1, 5, 10 y 25 Hz) y cuatro temperaturas (4.4, 21.1, 37.7 y 54.4°C). Sin embargo, a causa de inconvenientes con el equipo, la mezcla 9.5DF debió ensayarse de acuerdo a la norma AASHTO TP 79, que utiliza un procedimiento simplificado con cuatro frecuencias (0.01 Hz a la temperatura más alta y 0.1, 1 y 10 Hz a todas las temperaturas) y tres temperaturas (4.4, 20 y 40°C).

En la Figura 5 se muestran los valores del módulo dinámico de las mezclas no modificadas (eje x) versus el módulo dinámico de las mezclas modificadas (eje y). Cuanto más similares son los valores de  $E^*$ , los puntos se encuentran más cercanos a la línea de igualdad. Es apreciable cómo la tendencia es que los puntos se encuentren por debajo de la línea de igualdad, indicando un mayor módulo dinámico (mayor rigidez) para las mezclas no modificadas, especialmente para los valores más altos de  $E^*$ , que corresponden a las temperaturas bajas y frecuencias altas. En el caso de la mezcla 9.5DF, la diferencia es poco perceptible, lo cual puede estar relacionado con el uso del procedimiento simplificado de ensayo.



**Figura 5: Comparación de módulo dinámico para mezclas con y sin adición de polímero**

Los resultados del ensayo de módulo dinámico también pueden usarse para evaluar la resistencia al agrietamiento por fatiga de las mezclas. Dada la alta variabilidad observada en los resultados del ensayo de fatiga a flexotracción, se utilizó el factor de fatiga  $E^* \sin \phi$  como otro indicador de la resistencia a la fatiga, donde  $E^*$  es el módulo dinámico en MPa y  $\phi$  es el ángulo de fase, ambos medidos a una frecuencia de 10 Hz y a una temperatura de 20°C, para simular las condiciones que propician este tipo de falla. En la Figura 6 se muestran los factores de fatiga para todas las mezclas. Los resultados concuerdan con la tendencia observada anteriormente, ya que valores más bajos de  $E^* \sin \phi$  sugieren mejor desempeño (Kennedy y Ping, 1991), por que las mezclas

modificadas parecen ser más resistentes al agrietamiento. Este parámetro también depende del tamaño máximo y granulometría de la mezcla, pero posee una variabilidad mucho más reducida que la observada para el número de ciclos a la falla en la prueba a flexotracción.

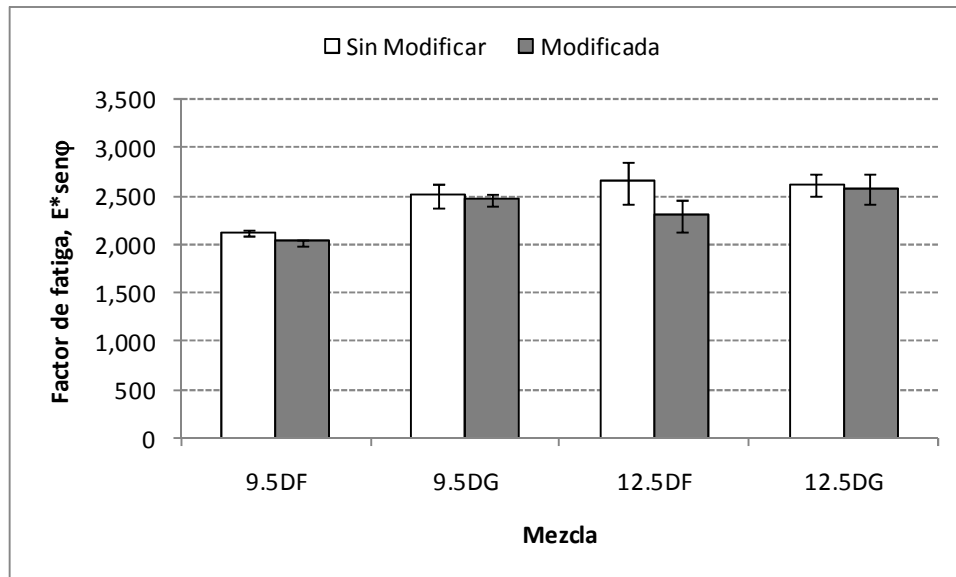


Figura 6: Factor de fatiga a 20°C y 10 Hz

## CONCLUSIONES

Este estudio evaluó el desempeño en laboratorio de mezclas asfálticas modificadas con polímero comparadas con mezclas no modificadas. Las conclusiones de dicho trabajo se presentan a continuación:

Aunque las mezclas no modificadas tuvieron mayores valores de tensión diametral que las mezclas modificadas, los resultados de la resistencia retenida a la tensión diametral fueron similares, y en todos los casos se encontraron por arriba de 0.80, mostrando buena resistencia al daño por humedad.

En general, la adición de polímero modificante resultó en una reducción de la deformación permanente de las mezclas.

El ensayo de fatiga a flexotracción mostró una tendencia de las mezclas modificadas a tener mayor resistencia al agrietamiento. Dada la alta variabilidad de los resultados, se comparó además el factor de fatiga obtenido del ensayo de módulo dinámico, con conclusiones similares.

El módulo dinámico de las mezclas no modificadas tiende a ser mayor que el de las modificadas, especialmente a valores bajo de temperatura y altas frecuencias.

El uso de mezclas asfálticas modificadas en Costa Rica podría eventualmente resultar en pavimentos con mejor desempeño y durabilidad. Este trabajo incluyó varios tipos de mezcla típicos del país, pero aún se requiere de más investigación con distintos tipos de agregados y polímeros a fin de desarrollar especificaciones para la construcción de carreteras que incorporen estos materiales. Se recomienda además la realización de ensayos acelerados a escala natural para



estudiar el comportamiento de la estructura total del pavimento e incluir este tipo de materiales en el desarrollo e implementación de una guía de diseño de pavimentos mecánico-empírica calibrada para las condiciones propias de Costa Rica.

## REFERENCIAS

- Illinois Department of Transportation. (2005). Pavement Technology Advisory - Polymer Modified Hot Mix Asphalt. Design, Construction and Materials, PTA-D5.
- Kennedy, T. W., Ping, W. V. (1991) An Evaluation of Effectiveness of Antistripping Additives in Protecting Asphalt Mixtures from Moisture Damage. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 60. p. 230-263.
- Roberts, F.L. Kandhal, P.S. Brown, E.R. Lee, D.Y. & Kennedy, T.W. (2009). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction. NAPA Education Foundation, Lanham, MD, Third Edition.
- Stroup-Gardiner, M., Newcomb, D. (1995). Polymer Literature Review. Minnesota Department of Transportation, Report No. MN/RC 95/27.
- Von Quintus, H., Mallela, J., Buncher, M. (2007). Quantification of Effect of Polymer-Modified Asphalt on Flexible Pavement Performance. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2001, p. 141-154.