

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MODIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA CON FIBRAS ACRÍLICAS

Fabián Elizondo¹, Fabiola Miranda², José Pablo Aguiar³, Guillermo Loria⁴, Julio Zambrano⁵

¹Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, fabian.elizondo@ucr.ac.cr

²Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, fabiola.miranda@ucr.ac.cr

³Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, jose.aguiar@ucr.ac.cr

⁴Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, luis.loríasalazar@ucr.ac.cr

⁵Sudamericana de Fibras S.A., Callao, Perú, jzambrano@sdef.com

Resumen

Existe una necesidad constante por mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas que se traduzca en un mejor desempeño de los pavimentos y uso más eficiente de los recursos invertidos en carreteras. Las fibras acrílicas y naturales se incorporan en materiales de construcción con múltiples fines; en mezclas asfálticas su uso más común es en mezclas discontinuas como aditivo para la retención de asfalto que evite la pérdida por drenaje.

La versatilidad en la fabricación de fibras acrílicas permite el diseño de un producto con características específicas de composición, tamaño-forma y propiedades mecánicas que al ser incorporada dentro de la mezcla asfáltica buscan mejorar su desempeño mecánico sin detrimento o afectación de la afinidad entre sus componentes.

Esta investigación consistió en la incorporación de fibras acrílicas especialmente diseñadas para la modificación de mezclas asfálticas con el objetivo de valorar su efecto en las propiedades de desempeño. El esquema experimental incluyó el análisis de tres mezclas asfálticas, una de control y dos con dosificaciones distintas de fibra. Para valorar el aporte de la fibra se realizaron los ensayos de fisuramiento por fatiga en vigas a flexo-tracción, deformación permanente en pista a escala mediante el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), módulo dinámico y resistencia retenida a la tensión indirecta (RRTD).

Los resultados permitieron identificar un mejoramiento en la resistencia a la fatiga sin generar efectos negativos en el desempeño a la deformación permanente o a la resistencia al daño por humedad. Altas dosificaciones de fibra producen un efecto contrario al deseado, resultado de una aparentemente afectación en la trabajabilidad y por ende un aumento en la heterogeneidad de la mezcla asfáltica.

Palabras clave: fibras acrílicas, fisuramiento por fatiga, desempeño.

1 Introducción

El deterioro de las capas de mezcla asfáltica se relaciona con varias de sus propiedades: su estabilidad ante las cargas que permita resistir adecuadamente los esfuerzos aplicados (principalmente los de cortante para evitar las deformaciones plásticas), su rigidez relacionada con la capacidad de ser sometida a esfuerzos y deformarse elásticamente sin presentar fallas por fisuramiento y la afinidad entre el asfalto, aditivos y los agregados pétreos para evitar el desnudamiento o pérdida de adherencia producto de la humedad.

La siguiente investigación comprende la evaluación de diferentes tratamientos de mezclas asfálticas ante dichos deterioros. No obstante, el proyecto se enfoca en el análisis del desempeño al fisuramiento por fatiga y el aporte que se puede generar mediante la modificación de la mezcla asfáltica con fibras acrílicas en diferentes dosificaciones. Por tanto el análisis comprende la evaluación a la fatiga a partir de un ensayo de desempeño en laboratorio y adicionalmente la verificación de la respuesta de los tratamientos a deterioros relacionados con la deformación permanente y al daño por humedad.

2 Objetivo

El objetivo de la investigación consiste en evaluar el efecto de la adición de fibras acrílicas para la modificación de mezclas asfálticas densas, en busca de una mejora en la resistencia al fisuramiento por fatiga sin detrimento en las demás propiedades de desempeño.

3 Caracterización de la fibra

Las fibras utilizadas en la investigación consisten en fibras acrílicas de alta tenacidad. Inicialmente, su uso se orientó como refuerzo dentro de la matriz de concreto hidráulico evitando el fisuramiento producido por las contracciones generadas durante el fraguado. Debido al éxito obtenido para esta aplicación, se consideró su implementación en otros materiales de construcción, como es el caso de la mezcla asfáltica, en busca de un aporte en la resistencia a esfuerzos de tensión y por tanto en la resistencia a la fatiga del material. En la Tabla 1 se presentan algunas de las propiedades de la fibra.

Tabla 1. Propiedades físicas y mecánicas de la fibra utilizada en la investigación

Propiedad	Magnitud	Propiedad	Magnitud
Longitud promedio	12 mm	Resistencia a la rotura	36 - 44 cN/fibra
Diámetro	21 x10 ⁻³ mm	Alargamiento a la rotura	23,4 ± 12 %
Nº fibras/gramo	208,3 x10 ³	Contenido de ensimaje	0,20 - 0,60 %
Densidad	1,17 g/cm ³	Finura	3,7 - 4,5 dTex ^a
Temperatura máxima	> 250 °C	Humedad	0 - 2 %

^adTex: masa en gramos por cada 10.000 metros de fibra

Durante la elaboración de la fibra, estas son sometidas a un proceso de estiramiento, en donde se modifica la estructura molecular de la fibra alcanzando una mayor orientación de las macromoléculas y en consecuencia fibras más resistentes a la tracción. Adicionalmente, la fibra contiene un aditivo que absorbe radiación UV y la convierte en luz blanca, lo cual podrá ser analizado posteriormente como agente para retardar el envejecimiento del asfalto.

En cuanto a su estructura física, la fibra fue diseñada con una sección transversal en forma de hueso (Figura 1 a), lo cual permite generar una mayor adherencia mecánica en la matriz en donde se incorpore, tal y como se muestra en la Figura 1 b. Dentro de la matriz, las fibras forman una red

tridimensional que actúa ante esfuerzos de tensión evitando y retardando la aparición de fisuras, lo cual a su vez favorece el sellado de la mezcla e inhibe la penetración del agua. Finalmente, su longitud ha sido diseñada en función del tamaño de los agregados que componen la mezcla asfáltica, puesto que mayores longitudes la fibra tiende a doblarse, lo cual afectaría el objetivo para el cual fue diseñada.

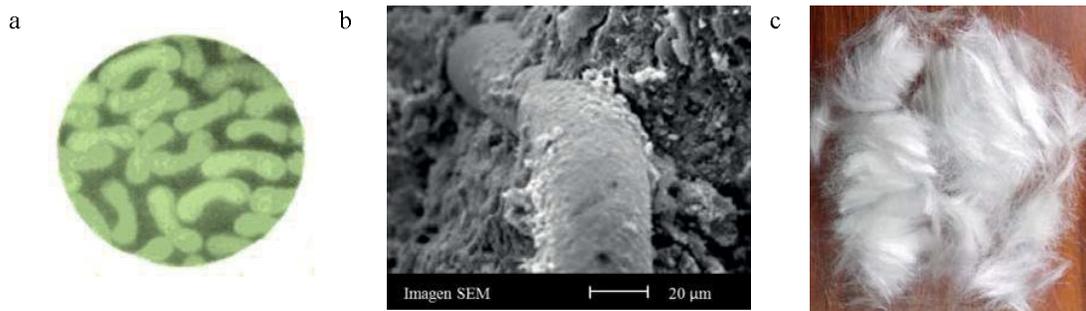


Figura 1 Fibra acrílica a. Sección transversal b. Adherencia en una matriz c. Apariencia física

3.1 Procedimiento de incorporación en campo

La modificación de la mezcla asfáltica en planta utilizando fibras acrílicas, según lo especifica el fabricante, introduce un paso durante el proceso de mezclado. Su adición se realiza durante la dosificación del ligante asfáltico, en donde se conecta un dispositivo de dosificación automático, el cual separa y disgrega las fibras mediante un movimiento giratorio y las transporta con aire incorporándolas al ligante en la dosificación requerida. El dispositivo diseñado para tal efecto se muestra en la (Figura 2). De esta manera, se forma una matriz asfalto-fibra que se mezcla inmediatamente con los agregados pétreos, garantizando homogeneidad en la mezcla y a su vez evitando que la fibra entre en contacto directo con el agregado y se corte o deteriore durante el mezclado.

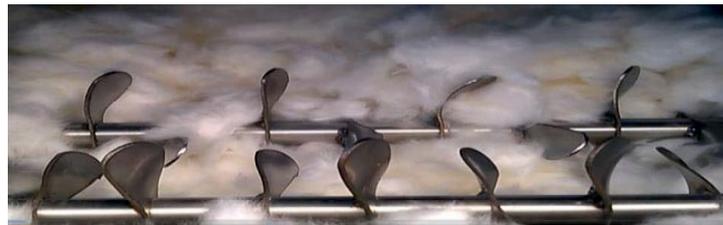


Figura 2 Dispositivo mecánico para la dispersión y dosificación de la fibra

4 Programa Experimental

El programa experimental abarca la evaluación de cinco tratamientos. Inicialmente se analiza el desempeño a la fatiga, deformación permanente y daño por humedad de tres mezclas asfálticas diseñadas al 4 % de vacíos con contenidos de 0,00 % (mezcla de referencia), 0,15 % y 0,20 % de fibras acrílicas sobre el peso total de mezcla.

Posterior a esto y en función del análisis de los resultados obtenidos, se selecciona el porcentaje óptimo de dosificación de fibra y con base en los diseños de mezcla iniciales, se evalúan dos mezclas asfálticas adicionales correspondientes al porcentaje de asfalto requerido para lograr un contenido del 5% de vacíos de diseño, lo anterior para contenidos de 0,00% y 0,15 % de fibra, con

el objetivo de analizar mezclas más abiertas, con menor contenido de asfalto, y en consecuencia con mayor susceptibilidad al fisuramiento por fatiga.

A nivel general, el diseño comprende el uso de una configuración granulométrica de agregados y un mismo ligante asfáltico; dosificados, mezclados y compactados en diferentes condiciones para obtener tratamientos de mezclas con contenidos de asfalto óptimo equivalentes para las dosificaciones de fibras acrílicas previamente indicadas, los cuales son sometidos a ensayos dinámicos para evaluar su desempeño en el laboratorio relacionados a deterioros típicos a nivel de pavimentos.

4.1 Diseño de mezcla

El diseño de mezcla se realizó con base en la norma AASHTO M 323 [1] correspondiente a la metodología Superpave. Debido al enfoque del proyecto la mezcla posee una estructura granulométrica densa gruesa de tamaño máximo nominal de 12,5 mm (Figura 3), en busca de un alto porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA) y en consecuencia una mezcla abundante en asfalto. Adicionalmente, estas se diseñan para alto volumen de tránsito, por tanto los especímenes son mezclados y compactados a 100 giros utilizando el Compactador Giratorio Superpave (CGS).

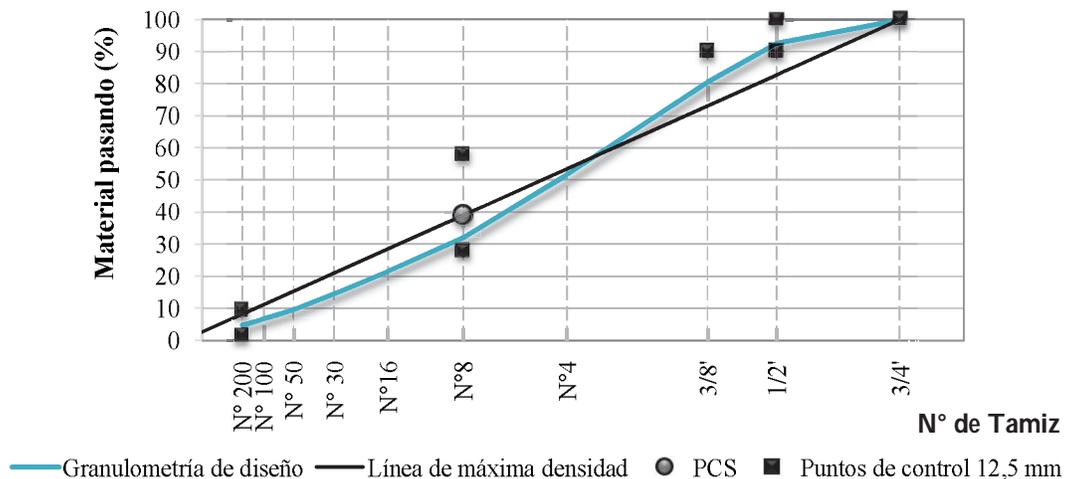


Figura 3 Curva granulométrica de diseño

En la Tabla 2 se desglosan las características de diseño de los tratamientos aplicados en el proyecto. Como se comentó anteriormente, al inicio se evalúan los tratamientos T1, T2 y T3 correspondientes a mezclas diseñadas convencionalmente al 4% de vacíos y una vez que se obtienen los primeros resultados de desempeño el estudio se amplía a una evaluación más detallada en cuanto al aporte de la fibra en la respuesta a la fatiga, mediante el análisis de los tratamientos T4 y T5 basados en los tratamientos T1 y T2, correspondientes a mezclas al 5 % de vacíos generando una disminución en el contenido de asfalto y por ende una condición más crítica del material al daño por fatiga.

Tabla 2. Diseños de mezcla de los tratamientos aplicados

Propiedad de la mezcla	T1	T2	T3	T4	T5
Contenido de fibra	0,0%	0,15%	0,20%	0,0%	0,15%
Temperatura de mezclado	158 °C	165 °C	165 °C	158 °C	165 °C
Temperatura de compactación	148 °C	155 °C	155 °C	148 °C	155 °C
% Asfalto (PTA)	7,08	7,06	7,15	6,63	6,62
% Asfalto (PTM)	6,61	6,59	6,67	6,22	6,21
% Asfalto efectivo	4,98	5,22	5,45	4,58	4,91
% Vacíos	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0
%VMA	15,5	15,9	16,4	15,7	16,1
%VFA	73,1	74,9	75,6	66,3	69,0
Polvo/asfalto	0,96	0,92	0,88	1,05	0,98

Empíricamente se determinó que las mezclas modificadas con fibras acrílicas requieren de una mayor energía de mezclado y compactación, tanto en temperaturas como en número de giros aplicados en el CGS. A partir del ajuste de las condiciones de mezclado y compactación, se alcanzan contenidos de asfalto óptimo equivalentes en las mezclas diseñadas al mismo porcentaje de vacíos, lo cual favorece al objetivo de la investigación.

4.2 Procedimiento de incorporación de la fibra en la mezcla asfáltica en laboratorio

El procedimiento de incorporación de la fibra en el laboratorio se resume en la Figura 4. Este inicia con la preparación de los materiales, posterior a esto se adicionan los agregados y se desmenuza la fibra en busca de una distribución uniforme. Se procede entonces con la homogenización fibra-agregados mediante un movimiento envolvente que incorpore la fibra dentro de la matriz de agregados sin cortarla, para finalmente adicionar el ligante asfáltico y homogenizar los materiales hasta obtener la mezcla.



Figura 4 Procedimiento de adición de la fibra en la mezcla asfáltica en laboratorio

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio aplicados a los diferentes tratamientos.

5 Resultados de laboratorio: Evaluación de desempeño de las mezclas

5.1 Termogravimetría

Las fibras acrílicas utilizadas en el proyecto son analizadas a partir de un ensayo de Análisis Termogravimétrico (TGA) con la intención de verificar la temperatura de descomposición del material. Para esto una pequeña muestra se somete a una rampa de temperatura de 0 °C a 1000 °C a razón de 10 °C/min. La historia de descomposición de la fibra se muestra en la Figura 5.

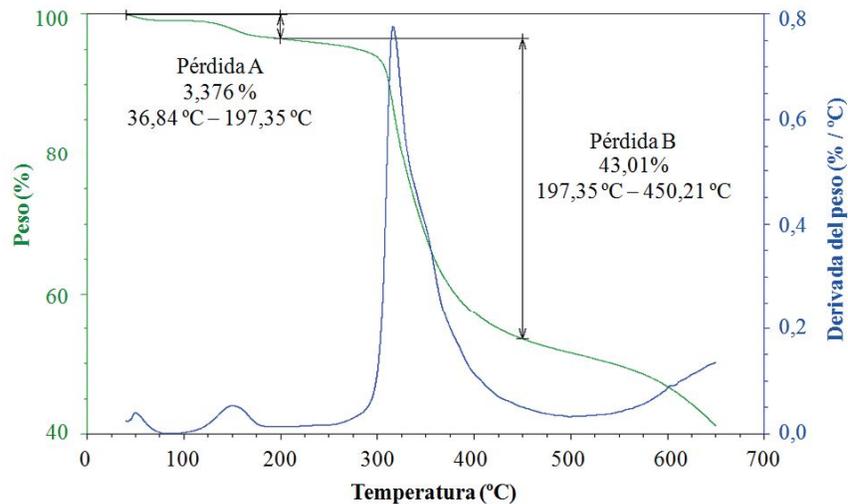


Figura 5 Análisis termogravimétrico aplicado a la fibra acrílica

A grandes rasgos, el análisis TGA revela la ocurrencia de dos eventos importantes: en el primero se presenta antes de alcanzar los 200 °C y el segundo evento, y más significativo aún, ocurre entre los 200 y 450 °C aproximadamente, con el proceso de descomposición del material. Posterior a esta temperatura la fibra continúa degradándose paulatinamente.

Los apartados a continuación comprenden los resultados de los ensayos de desempeño aplicados sobre la mezcla asfáltica.

5.2 Ensayo de Módulo Dinámico

El ensayo de módulo dinámico permite obtener propiedades mecánicas del material ante diferentes condiciones de temperaturas y velocidades de carga. La importancia de la obtención de este parámetro radica en que este se ha constituido como un elemento fundamental en el diseño de pavimentos, puesto que permite caracterizar de manera racional el comportamiento esfuerzo-deformación de los materiales que conforman la estructura de la mezcla asfáltica. Los resultados del ensayo se presentan mediante Curvas Maestras (Figura 6), haciendo uso del principio de Superposición Tiempo-Temperatura. El procedimiento de ensayo se realizó basado en la norma AASHTO TP 62 [2].

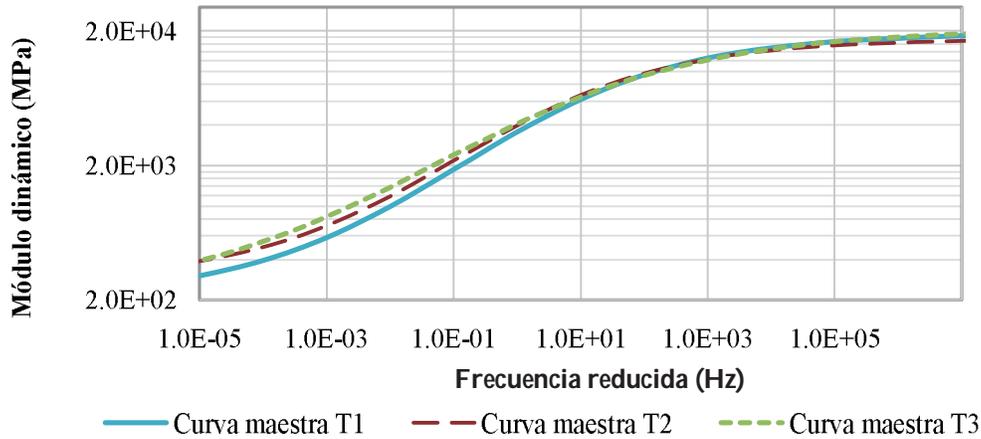


Figura 6 Curvas maestras de los tratamientos T1, T2 y T3

5.3 Ensayo de APA

La prueba de APA corresponde a un ensayo empírico a partir del cual se evalúa la susceptibilidad de las mezclas a la deformación permanente. El procedimiento de laboratorio se realiza basado en la norma AASHTO TP 63 [3], donde los especímenes son sometidos a ciclos de carga repetidos a una temperatura de 60 °C registrando la deformación acumulada en cada ciclo. En la Figura 7 se presenta un resumen de los tratamientos T1, T2 y T3 correspondientes a los diseños al 4 % de vacíos.

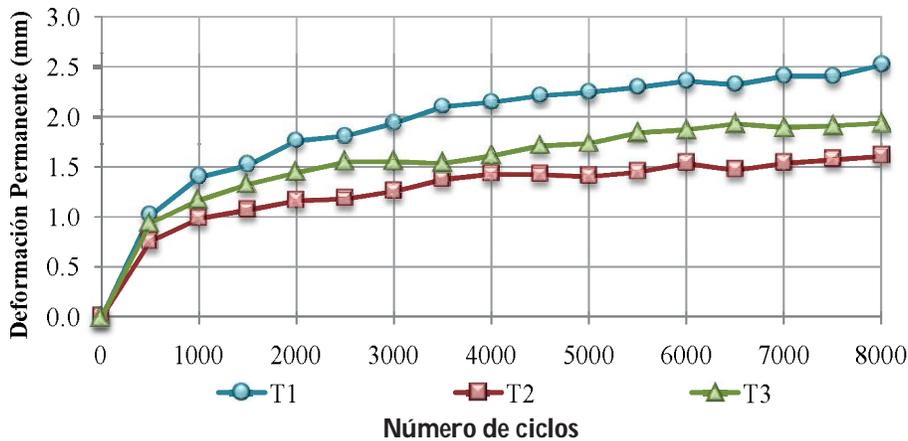


Figura 7 Resultados del ensayo de APA para los tratamientos T1, T2 y T3

5.4 Ensayo de Flow Number

El ensayo de Flow Number consiste en la aplicación de un esfuerzo axial desviador a un espécimen sin confinamiento a una temperatura de 58 °C. El número de flujo corresponde al ciclo en donde tasa de deformación permanente acumulada registra el valor mínimo, asociada a la fluencia por flujo terciario según lo que define la norma AASHTO TP 79 [4]. Los resultados obtenidos para los tratamientos correspondientes a los diseños al 4 % de vacíos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados del ensayo de Flow Number para los tratamientos T1, T2 y T3

Especimen	Flow Number (ciclos)		
	T1	T2	T3
1	159	162	154
2	195	126	-
3	200	151	127
4	115	115	136
5	93	186	143
Promedio	152	148	140

5.5 Ensayo de RRTD

El ensayo RRTD permite evaluar la susceptibilidad de las mezclas ante la pérdida de capacidad en presencia de agua, este procedimiento se aplica basado en la norma AASHTO T 283 [5]. Los resultados obtenidos para los tratamientos T1, T2 y T3 se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados del ensayo de RRTD para los tratamientos T1, T2 y T3

Tratamiento	Condición	Vacíos promedio	Esfuerzo promedio (kPa)	RRTD
T1	Seca	7,1	914	91,4 %
	Acondicionada	6,8	835	
T2	Seca	6,6	949	96,3 %
	Acondicionada	6,3	914	
T3	Seca	7,0	999	88,1 %
	Acondicionada	7,0	880	

5.6 Ensayo de fatiga en vigas a flexo-compresión

El ensayo de viga a flexo-tracción se basa en la norma AASHTO T 321 [6], la cual consiste en someter a una viga de mezcla asfáltica a ciclos de deformación unitaria constante a una frecuencia de 10 Hz y una temperatura de 20 °C, mediante la aplicación de cargas en los tercios medios del espécimen, generando un esfuerzo de flexión pura en el tercio central de la viga, hasta que el espécimen registre el 50 % de su rigidez inicial. Este ensayo se realiza para los 5 tratamientos descritos en la Tabla 2, en donde se analizan simultáneamente dos variables: mezclas con diferentes dosificaciones de fibra y mezclas diseñadas a diferentes contenidos de vacíos. Para todas las mezclas se ensayaron vigas a dos niveles de deformación. Los resultados del ensayo se resumen en la Figura 8, en donde los valores al final de las barras representan el promedio de las tres mediciones. Durante la compactación de bloque del tratamiento T5 para ser ensayado a la deformación de 400×10^{-6} mm el equipo presentó problemas, por tanto estos resultados son excluidos del análisis, no obstante se muestran en la figura a continuación.

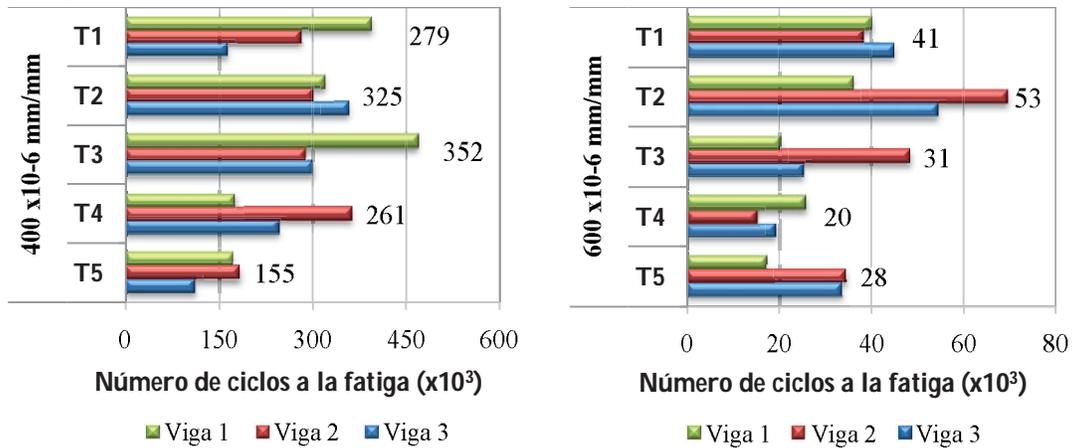


Figura 8 Resultados del ensayo de fatiga

6 Análisis de resultados

6.1 Análisis de Termogravimetría

El análisis TGA permite identificar dos eventos importantes en la historia del material. El primero corresponde a la Pérdida A, la cual describe una deshidratación cerca de los 50 °C y posteriormente al sobrepasar los 150 °C se presenta una pérdida de solventes. El segundo evento y más importante, ocurre a los 330 °C con la descomposición de la fibra (Pérdida B), describiendo un comportamiento típico para una fibra orgánica. Al iniciar la degradación después de los 200 °C se observa una estabilidad térmica media, lo cual para efectos del proyecto es suficiente considerando que la temperatura de mezclado no sobrepasa los 168 °C. Adicionalmente al observar la derivada de la curva se aprecia que el único cambio de masa considerable sucede en el rango de la Pérdida B. Posterior a la descomposición de la fibra no se realiza ningún análisis adicional.

6.2 Capacidad mecánica del material

Los resultados del ensayo de módulo dinámico se utilizaron para la calibración de curvas maestras a partir de la fórmula general Sigmoidal y el factor de ajuste de William-Landel-Ferry, para los cuales se obtuvo excelentes bondades de ajuste, en un rango de 97 y 99 % de representatividad. De manera general, las curvas maestras que aparecen en la Figura 6 evidencian una estructura rígida con altos módulos a temperaturas de servicio, sin embargo a temperaturas altas o frecuencias de carga bajas se identifica una separación de las curvas T2 y T3 respecto a T1, donde las mezclas con contenidos de fibras acrílicas alcanzan mayores rigideces. Lo anterior obedece a un aporte de la fibra a la capacidad de la mezcla en condiciones de mayor susceptibilidad al ahuellamiento.

6.3 Desempeño a la deformación permanente

La mezcla asfáltica analizada posee un esqueleto granulométrico robusto que aporta rigidez a la estructura, no obstante el enfoque del diseño se basa en evaluar la resistencia al agrietamiento por fatiga. De ahí que uno de los principales hallazgos de la investigación consistió en que se detectó

que la adición de fibras acrílicas en la mezcla asfáltica no genera un efecto negativo en el desempeño de la mezcla a la deformación permanente. En contra posición favorecen la resistencia a la deformación plástica medida mediante un ensayo empírico como lo es la prueba de APA.

El resultado del ensayo de APA mostrado en la Figura 7, demuestra que la mezcla modificada al 0,15 % de fibra presenta una deformación permanente significativamente menor respecto a la mezcla de control, reduciendo en casi un 25 % la deformación plástica promedio. Estos resultados muestran consistencia respecto a las tendencias mostradas en las curvas maestras, en donde a temperaturas altas y frecuencias bajas la mezcla de control tiene menor rigidez respecto a las mezclas modificadas con fibras acrílicas.

El Manual de Diseño de Mezclas en Caliente del Programa Nacional Cooperativo de Investigación de Carreteras (NCHRP) en su reporte 673 [7], recomienda que la deformación medida en el ensayo de APA no debe exceder los 3 mm para un nivel de tráfico superior a 30 millones de ESALs, lo cual evidencia la alta rigidez de las mezcla diseñadas, para las cuales las deformaciones promedio se mantienen en un rango de 1,63 a 2,54 mm. Por otro lado, la propuesta de especificación elaborada en el LanammeUCR [8], para mezclas asfálticas de alto desempeño para rutas con altos volumen de tránsito, especifica para Costa Rica una deformación máxima de 2,5 mm. Para esta condición, únicamente las mezclas modificadas con fibras acrílicas cumplen con el requerimiento.

Por su parte, los resultados del ensayo de Flow Number no revelan diferencias significativas entre las mezclas ensayadas. No obstante, debido a que el espécimen de ensayo permanece sin confinamiento, la capacidad desarrollada tras la aplicación de la carga se asocia con la capacidad al corte del ligante asfáltico, en donde las fibras no desarrollan capacidad. Por tanto, la similitud entre los resultados evaluados a partir de la prueba de Flow Number en las mezclas diseñadas al 4% de vacíos se asocia a las condiciones del ensayo.

Según los resultados obtenidos y con base en las recomendaciones de [7], los tratamientos evaluados se clasifican dentro del rango de mezclas para soportar niveles de tránsito de 3 a 10 millones de ESALs.

6.4 Desempeño al daño por humedad

El ensayo de RRTD evidenció un mejor desempeño al daño por humedad del tratamiento T2. Los resultados revelan que la adición de fibra en una dosificación del 0,15 % aporta un aumento en resistencia del 5 % para la retención de la capacidad de la mezcla en presencia de agua. Tal y como se mencionó al inicio, las fibras se dispersan dentro de la matriz favoreciendo el sellado de la estructura lo cual contribuye a inhibir el ingreso del agua en la mezcla.

La metodología Superpave define un mínimo del 80 % de RRTD, mientras que la propuesta de especificación en Costa Rica [8], establece un requerimiento del 85 % de RRTD, debido a la alta exposición a la presencia de lluvias en el país. Para ambas normativas todos los tratamientos evaluados alcanzan un desempeño adecuado.

6.5 Desempeño al fisuramiento por fatiga

La Figura 8 resume los resultados del ensayo de viga a flexo-tracción, en donde es posible identificar que los tratamientos T2 y T3 son los que presentan un mejor desempeño al agrietamiento por fatiga a una deformación de 400×10^{-6} mm/mm. Por su parte, a un nivel de deformación más crítico de 600×10^{-6} mm/mm, nuevamente el tratamiento T2 presenta las mejores condiciones. Los resultados son consistentes en el tanto que las mezclas con contenidos de fibras acrílicas provocan un aumento en la vida a fatiga del material.

Los resultados de fatiga a un nivel de deformación de 600×10^{-6} mm demuestran que una reducción del 0,45 % en el contenido de asfalto genera una reducción del 50 % en el desempeño a la fatiga de las mezclas. Por otro lado, al realizar la comparación entre los tratamientos T1 contra T2 y T4 contra T5, es evidente que las mezclas modificadas con 0,15 % de fibra muestran un mejor desempeño. En el primer caso se obtuvo una mejora del 16 %, mientras que para el segundo caso, el aumento en la resistencia al fisuramiento fue del 40 %, siendo esta última la condición más crítica.

Adicionalmente, en la Figura 8 es posible identificar una alta variabilidad en los resultados entre las 3 vigas ensayadas para cada tratamiento en ambos niveles de deformación, lo cual representa una limitación de la investigación, propio de la naturaleza del ensayo. Por esta razón, no se obtienen diferencias cuantitativas significativas entre tratamientos, no obstante las pruebas evidencian un aporte de la fibras acrílicas en el desempeño a la vida a fatiga de la mezcla.

La propuesta de especificación para Costa Rica [8] define un número de ciclos mínimo de 25.000 para un nivel de deformación de 600×10^{-6} mm. Según se aprecia en los resultados, todos los tratamientos de mezclas modificadas con fibras acrílicas, inclusive la mezcla diseñada al 5 % de vacíos (T5), cumple con el requisito de desempeño. No ocurre lo mismo para las mezclas de control, en donde el tratamiento T4 demuestra un desempeño deficiente al solicitado por la especificación. Por otro lado, a un nivel de deformación de 400×10^{-6} mm se especifica un número mínimo de ciclos de 300.000, requisito que únicamente alcanzan los tratamientos T2 y T3 correspondientes a las mezclas modificadas con fibra.

7 Conclusiones y recomendaciones

Una vez completado el esquema experimental y los análisis individuales de cada uno de los ensayos, se destacan las siguientes conclusiones generales:

a. La evaluación de las diferentes dosificaciones de fibra permite identificar que para el tratamiento mezcla modificado con 0,15 % de fibras acrílicas se presenta el mejor comportamiento, tanto a nivel de trabajabilidad y repetitividad como a nivel de desempeño del material.

b. El desempeño a la fatiga medido a partir del ensayo de viga a flexo-compresión evidenció que existe un aporte de la fibra en la resistencia al fisuramiento, a pesar que las ganancias de resistencia de la mezcla modificada al 0,15 % respecto a la mezcla original no son significativas cuantitativamente debido a la variabilidad implícita del ensayo, se obtuvo resultados consistentes y adicionalmente con un mejor desempeño para la condición más crítica asociada al mayor nivel de deformación.

c. La mezcla asfáltica diseñada se compone de un ligante asfáltico AC-30 y una configuración granulométrica robusta, ambos factores generan una estructura rígida y por tanto resistente a la deformación permanente, a pesar de que no haya sido diseñada para tal criterio. Este efecto fue evaluado mediante el ensayo de APA el cual reveló un aporte de la fibra significativo en la resistencia a la deformación permanente de la mezcla modificada al 0,15 %. Por otro lado, el ensayo de Flow Number demuestra que para los materiales y diseños del proyecto los tratamientos presentan el mismo desempeño ante el fenómeno de fluencia o flujo terciario. Ante esto se concluye que la modificación con fibras acrílicas no generó un efecto negativo en la resistencia a la deformación permanente y por el contrario aporta capacidad a la mezcla asfáltica.

d. Se identificó que aumentos sensibles en las dosificaciones de fibra a partir de 0,20 % sobre la mezcla asfáltica generan variaciones importantes a nivel de volumetría, debido al incremento en la superficie específica de la fibra que debe ser recubierta por asfalto y en consecuencia un mayor requerimiento del mismo. Todo esto se traduce en una mezcla inestable con baja resistencia al corte. Adicionalmente, para esta dosificación se presentó una alta variabilidad en los resultados asociado a problemas de trabajabilidad.

e. La modificación de mezcla asfáltica con fibras acrílicas requiere de un incremento en la energía de compactación, por tanto para lograr resultados equivalentes en campo respecto a los obtenidos en laboratorio, se requiere de un estricto control durante la construcción.

f. A modo de recomendación se plantea la importancia desarrollar un esquema experimental más amplio que contemple el análisis a la fatiga a partir de otros ensayos de desempeño, así como la verificación de los resultados para diferentes materiales y en mezclas con estructuras granulométricas más densas que reduzcan el contenido de asfalto óptimo de la mezcla y generen condiciones más críticas para el desempeño a la fatiga, y daño por humedad.

8 Referencias

- [1] AASHTO M 323-13 “Standard Specification for Superpave Volumetric Mix Design”.
- [2] AASHTO TP 62-03 “Standard Practice for Developing Dynamic Modulus Master Curves for Asphalt Mixtures”.
- [3] AASHTO T 340. “Standard Method of Test for Determining the Rutting Susceptibility of Hot Mix Asphalt (APA) Using the Asphalt Pavement Analyzer (APA)”.
- [4] AASHTO TP 79-09 “Standard Method of Test for Determining the Dynamic Modulus and Flow Number for Hot Mix Asphalt (HMA) Using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT)”.
- [5] AASTHO T 283-14 “Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage”.
- [6] AASTHO T 321-14 “Standard Method of Test for Determining the Fatigue Life of Compacted Asphalt Mixtures Subjected to Repeated Flexural Bending”.
- [7] NCHRP 673. “A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary”. Report. Transportation Research Board of the National Academies, Washington DC, 2011.
- [8] LM-PI-UMP-016-R1. “Materiales, mezclas asfálticas y técnicas de preservación”. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2013.