



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa De Infraestructura Del Transporte (PITRA)

LM-PI-UMP-078-R1

ESPECIFICACIÓN DE FATIGA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

Preparado por:
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica
Mayo, 2018

Documento generado con base en el Art. 6, inciso g) de la Ley 8114 y lo señalado en el Cap. IV, Art. 66 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

Preparado por: Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-
LanammeUCR jose.aguiar@ucr.ac.cr





1. Informe LM-PI-UMP-078-R1		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: ESPECIFICACIÓN DE FATIGA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS		4. Fecha del Informe Mayo de 2018
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <i>El siguiente informe corresponde a un documento complementario a la Sección 402 del Manual de Especificaciones CR-2010 actualizado en mayo de 2017, respecto al análisis de la especificación de fatiga en mezclas asfálticas de alto desempeño.</i> <i>El documento presenta la justificación de los requisitos definidos en la especificación para el criterio de fatiga en mezclas asfálticas, desarrollado a partir del análisis de una base de datos generada en el LanammeUCR en el periodo de 2013 a 2016.</i>		
10. Palabras clave Fatiga, especificación, mezcla asfáltica, desempeño, CR-2010	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 15
13. Preparado por: Ing. Fabiola Miranda Argüello, MSc.		
Fecha: / /	Fecha: / /	Fecha: / /
14. Revisado por: Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD.		
15. Aprobado por: Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD.		
Fecha: / /	Fecha: / /	Fecha: / /



TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	4
2	RESUMEN DEL PROTOCOLO DEL ENSAYO	4
2.1	Preparación de la muestra	4
2.2	Proceso de acondicionamiento de las muestras.....	4
2.3	Resumen del protocolo del ensayo de fatiga en la viga de cuatro puntos	4
3	DESARROLLO DE LA ESPECIFICACIÓN.....	5
4	CONCLUSIONES	11
5	REFERENCIAS	12
5.1	Informes de laboratorio	12

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS MEDICIONES DE FATIGA A 400 Y 600 MS (2013-2016)	6
TABLA 2.	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS MEDICIONES DE FATIGA A 400 Y 600 MS	9
TABLA 3.	COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE BASES DE DATOS	11

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	RESULTADOS DE ENSAYOS DE FATIGA A DIFERENTES NIVELES DE DEFORMACIÓN (2013-2016)	6
FIGURA 2.	HISTOGRAMA MEDICIONES DE FATIGA A 400 MS DE DEFORMACIÓN (BASE DE DATOS 2013-2016).....	7
FIGURA 3.	HISTOGRAMA MEDICIONES DE FATIGA A 600 MS DE DEFORMACIÓN (BASE DE DATOS 2013-2016).....	8
FIGURA 4.	BASE DE DATOS DE ENSAYOS DE FATIGA A DIFERENTES NIVELES DE DEFORMACIÓN (2013-2018)	9
FIGURA 5.	HISTOGRAMA MEDICIONES DE FATIGA A 400 MS DE DEFORMACIÓN (BASE DE DATOS 2013-2018)...	10
FIGURA 6.	HISTOGRAMA MEDICIONES DE FATIGA A 600 MS DE DEFORMACIÓN (BASE DE DATOS 2013-2018)...	11



1 INTRODUCCIÓN

El siguiente informe corresponde a un documento complementario a la Sección 402 del Manual de Especificaciones CR-2010 actualizado en mayo de 2017, respecto al análisis de la especificación de fatiga en mezclas asfálticas de alto desempeño.

El documento presenta un resumen del protocolo de ensayo así como la justificación de los requisitos definidos en la especificación para el criterio de fatiga en mezclas asfálticas realizado en la viga de cuatro puntos, desarrollado a partir del análisis de una base de datos generada en el LanammeUCR en el periodo de 2013 a 2016.

2 RESUMEN DEL PROTOCOLO DEL ENSAYO

En la siguiente sección se presenta un breve resumen de protocolo de ensayo de la prueba de viga de cuatro puntos, el cual considera tanto el proceso de acondicionamiento de las muestras como el procedimiento en laboratorio.

2.1 Preparación de la muestra

Para la realización del ensayo se requiere la compactación de un bloque de mezcla asfáltica del cual se extraen las vigas. El modo de compactación del bloque debe garantizar un porcentaje de vacíos en las vigas de 7 ± 1 %.

2.2 Proceso de acondicionamiento de las muestras

El bloque de mezcla asfáltica es sometido a un proceso de envejecimiento simulado en laboratorio, correspondiente a la colocación del mismo a una temperatura de 85 °C durante 5 días.

2.3 Resumen del protocolo del ensayo de fatiga en la viga de cuatro puntos

La prueba comprende el ensayo de 6 vigas de fatiga de dimensiones de 380 ± 6 mm de largo, 50 ± 6 mm de altura y 63 ± 6 mm de ancho. A cada nivel de deformación se ensayan 3 vigas, de modo que el criterio de aceptación será comparado contra el promedio de las 3 vigas.

El ensayo inicia con el acondicionamiento de la viga en la cámara ambientadora del equipo hasta alcanzar una temperatura de 20 ± 0.5 °C en todo el espécimen, esta condición se alcanza en un plazo no menor a 2 horas. Posterior a ello se determina el parámetro de rigidez producto de la aplicación de 50 ciclos a la deformación del ensayo, la rigidez obtenida en el ciclo número 50 corresponde a la rigidez inicial de la viga.

Finalmente se seleccionan los parámetros de entrada y se inicia la prueba. Los componentes de control y registro de datos se activan con el objetivo de monitorear y registrar las mediciones en el



intervalo seleccionado de ciclo de carga, asegurándose que el sistema de ensayo está operando correctamente.

3 DESARROLLO DE LA ESPECIFICACIÓN

La Sección 402) DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO SUPERPAVE del Manual CR-2010 (actualizado en mayo de 2017) define los requisitos de desempeño para mezclas asfálticas (Tabla 402-4). Como criterio de aceptación ante el deterioro por fatiga se especifica el ensayo de Vida de fatiga en vigas de mezcla asfáltica sujetas a carga repetida en flexión de acuerdo a la norma AASHTO T 321. La especificación define que el material debe igualar o superar un determinado número de ciclos a dos niveles de deformación definidos. De acuerdo al procedimiento estándar, el número de ciclos a la falla corresponde al valor al cual la viga alcanza el 50% de su rigidez inicial.

Los valores especificados para el criterio de fatiga en mezclas asfálticas en caliente Tipo C (capas asfálticas intermedias) y D (capas asfálticas de rodadura) se generan producto del análisis de una base de datos que contiene 413 puntos de medición de 45 mezclas asfálticas ensayadas a deformaciones entre los 250 hasta los 800 microstrain (μs) a 20 °C. Las mezclas corresponden tanto a mezclas con asfalto modificado con una amplia gama de polímeros comerciales, como sin modificar. Tales mediciones corresponden a ensayos realizados en el periodo de 2013 a 2016 en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR).

Los resultados de las mediciones se resumen en la Figura 1.

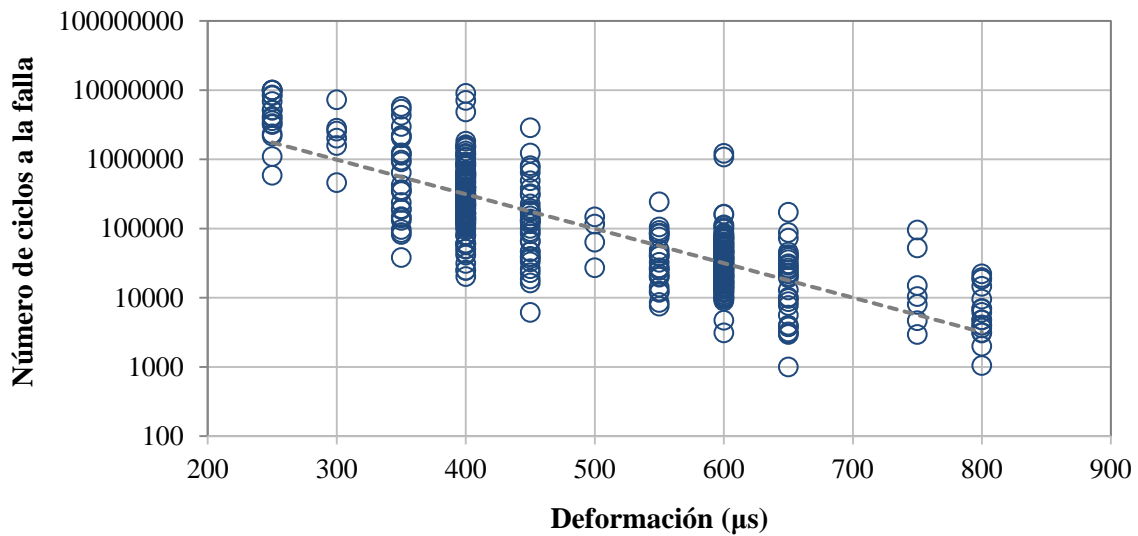




Figura 1. Resultados de ensayos de fatiga a diferentes niveles de deformación (período 2013-2016)

La Figura 1 muestra la tendencia del número de ciclos a la falla respecto al nivel de deformación. A partir de ello se definen los requisitos de aceptación del material para dos niveles de deformación:

- ❖ Deformaciones intermedias: 400 μs
- ❖ Deformaciones altas: 600 μs

El criterio para la selección de los niveles de deformación especificados se concreta de acuerdo a la experiencia del laboratorio en el plazo para la realización del ensayo. Deformaciones unitarias inferiores requieren de tiempos de ensayo imprácticos, así las cosas, se considera que la prueba debe ejecutarse en un tiempo razonable, al tratarse de un ensayo de aceptación de mezcla asfáltica.

Respecto a los tiempos de duración de las mediciones se estima que cada una de las réplicas tarda horas en alcanzar la falla a altas deformaciones (400-800 μs), a deformaciones intermedias (200-400 μs) se requiere de varios días para la falla, mientras que a deformaciones muy bajas (50-100 μs) el ensayo puede tardar meses. Adicional a estos plazos, debe considerarse los tiempos de mezclado, moldeo, preparación y acondicionamiento de las vigas. Por tanto, se plantea un procedimiento tal que la consecución del resultado final no exceda un plazo de 15 días naturales. Por otro lado, el procedimiento de ensayo señala que la deformación seleccionada no debe conducir a una falla antes de los 10.000 ciclos de carga. Cabe aclarar que el objetivo del ensayo no es el control de la calidad en campo, sino más bien el adecuado diseño del material.

Para la definición del requisito del número de ciclos a la fatiga para cada nivel de deformación se realiza un análisis estadístico de los resultados de 123 vigas, de acuerdo a la información disponible en la base de datos. La Tabla 1 presenta los resultados de estadística descriptiva de tales mediciones.

Tabla 1. Estadística descriptiva de las mediciones de fatiga a 400 y 600 μs (2013-2016)

Nivel de deformación	400 μs	600 μs
Promedio	582.731	56.528
Desviación Estándar	1.122.810	144.682
Cuartil 1 (Q₁)	145.310	17.580
Cuartil 2 (Q₂)	302.675	30.175
Cuartil 3 (Q₃)	608.370	53.148
Coefficiente de Variación	193%	256%
Coefficiente de Curtosis	36.13	55.28

LM-PI-UMP-078-R1	Mayo de 2018	Página 6 de 15
------------------	--------------	----------------



Coefficiente de Asimetría	5.65	7.35
----------------------------------	------	------

De acuerdo al análisis, para el nivel de deformación de 400 μ s se especifica lo siguiente:

- ❖ Para mezclas Tipo C el criterio de aceptación satisface el percentil 65 de los datos, el cual corresponde al valor exacto de 447.865 ciclos, por tanto, se especifica el cumplimiento de 450.000 ciclos previo a la falla.
- ❖ Para mezclas Tipo D el criterio de aceptación satisface el percentil 50 de los datos, el cual corresponde al valor exacto de 302.675 ciclos, por tanto, se especifica el cumplimiento de 300.000 ciclos previo a la falla.

La Figura 2 presenta el histograma de las mediciones de fatiga al nivel de deformación de 400 μ s.

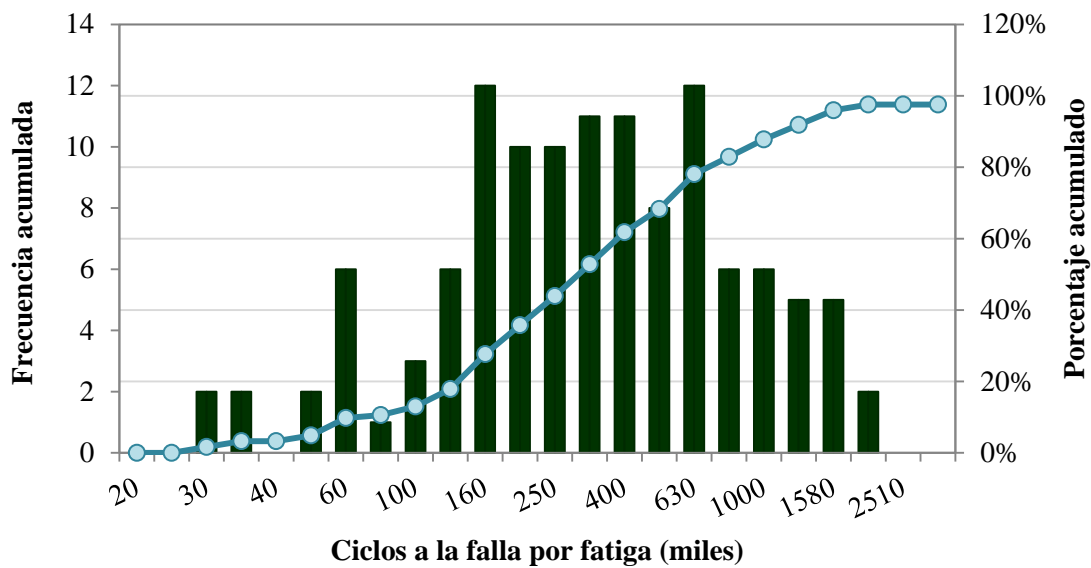


Figura 2. Histograma mediciones de fatiga a 400 μ s de deformación (Base de datos 2013-2016)

De manera análoga al análisis anterior, para el nivel de deformación de 600 μ s se especifica lo siguiente:

- ❖ Para mezclas Tipo C el criterio de aceptación satisface el percentil 74 de los datos, el cual corresponde al valor exacto de 49.399 ciclos, por tanto se especifica el cumplimiento de 50.000 ciclos previo a la falla.

LM-PI-UMP-078-R1	Mayo de 2018	Página 7 de 15
------------------	--------------	----------------



- ❖ Para mezclas Tipo D el criterio de aceptación satisface el percentil 38 de los datos, el cual corresponde al valor exacto de 24.069 ciclos, por tanto se especifica el cumplimiento de 25.000 ciclos previo a la falla.

La Figura 3 presenta el histograma de las mediciones de fatiga al nivel de deformación de 600 μ s.

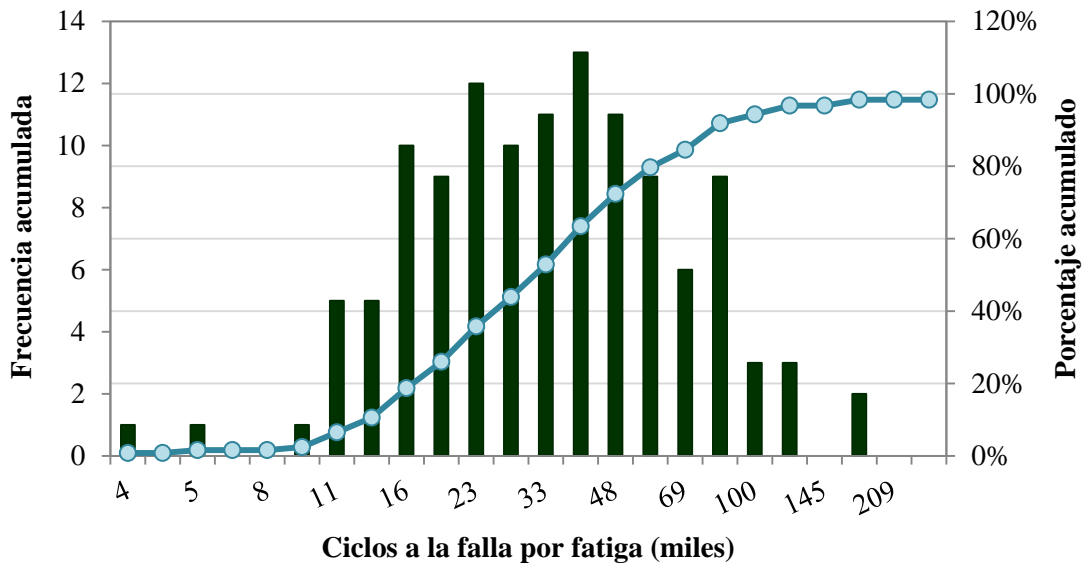


Figura 3. Histograma mediciones de fatiga a 600 μ s de deformación (Base de datos 2013-2016)

Para ambos niveles de deformación se define un valor percentil fundamentado en la variabilidad asociada al ensayo de fatiga. Por otra parte, la tolerancia de los niveles de confianza seleccionados varía en función del tipo de mezcla. Para mezclas Tipo C se definen niveles de confianza más rigurosos que para mezclas Tipo D, de acuerdo a la función que desempeñarán estas mezclas.

Se resalta que los percentiles establecidos para el cumplimiento se pueden considerar como bajos cuando se diseñan mezclas de alto desempeño, pero buscaron en su momento definir una transición al uso de mezclas asfálticas de alto desempeño.

Posterior al desarrollo de la especificación en el 2016, a la fecha se cuenta con 54 mediciones adicionales asociadas a 11 mezclas asfálticas ensayadas en el periodo de 2017 a marzo de 2018. La Figura 4 incorpora estas mediciones a la base de datos inicial, en donde se observa que la tendencia de las mediciones realizadas en los últimos años se encuentra por encima de la tendencia de la base de datos a partir de la cual se definió la especificación.

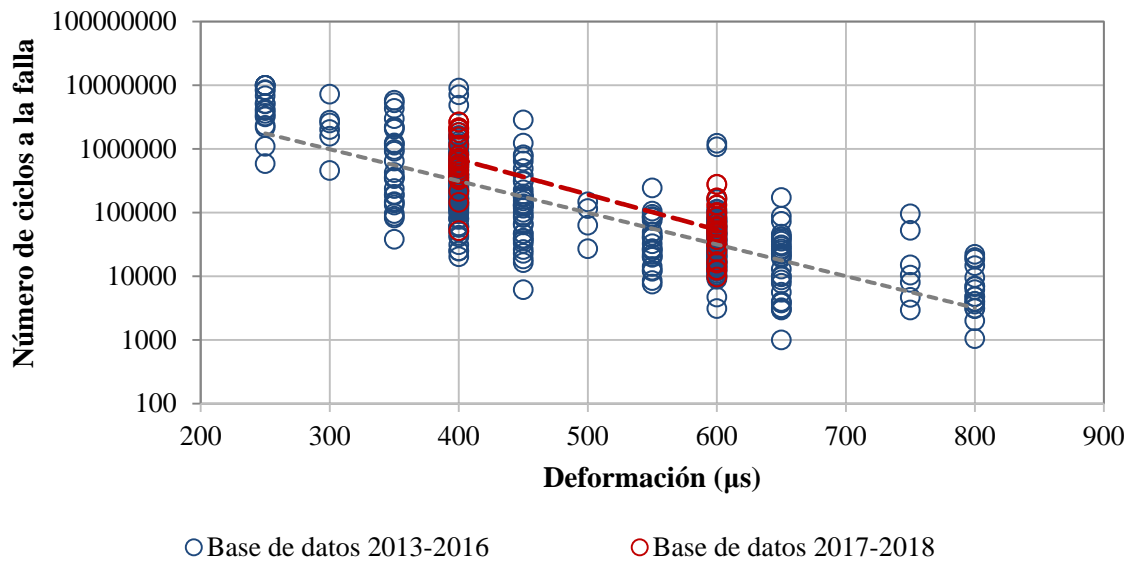


Figura 4. Base de datos de ensayos de fatiga a diferentes niveles de deformación (periodo 2013-2018)

La Tabla 2 presenta los resultados de estadística descriptiva de la base de datos que considera las mediciones de fatiga en el plazo de 2013 a 2018.

Tabla 2. Estadística descriptiva de las mediciones de fatiga a 400 y 600 μs

Nivel de deformación	400 μs	600 μs
Promedio	656.292	60.579
Desviación Estándar	1.085.782	135.152
Cuartil 1 (Q₁)	162.650	18.385
Cuartil 2 (Q₂)	356.940	33.280
Cuartil 3 (Q₃)	652.221	58.896
Coefficiente de variación	165%	223%
Coefficiente de Curtosis	32.44	58.77
Coefficiente de Asimetría	5.12	7.39

La Figura 5 y la Figura 6 presentan los histogramas actualizados con la información recopilada en el periodo de 2017 a mayo de 2018 para los niveles de deformación de 400 y 600 μs , respectivamente.

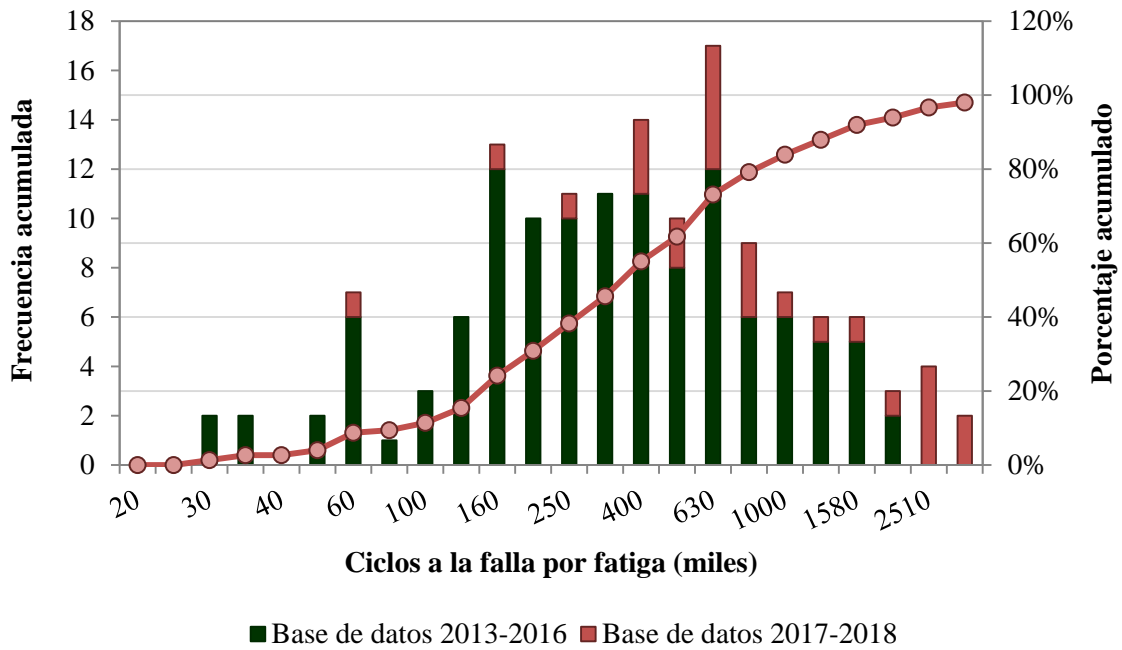


Figura 5. Histograma mediciones de fatiga a 400 µm de deformación (Base de datos 2013-2018)

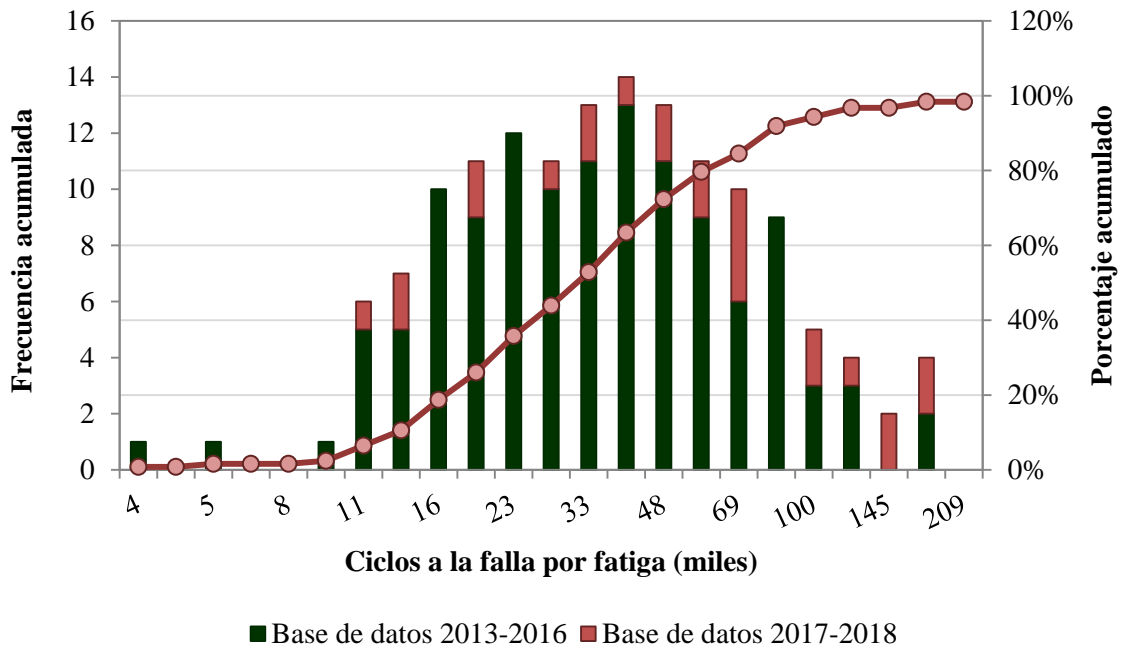




Figura 6. Histograma mediciones de fatiga a 600 μ s de deformación (Base de datos 2013-2018)

La Tabla 3 presenta una diferencia porcentual entre los parámetros de estadística descriptiva realizada entre la base de datos de 2013-2016 respecto a la base de datos actualizada (2013-2018), la cual comprende las mediciones realizadas en los últimos dos años.

Tabla 3. Comparación de parámetros de estadística descriptiva de bases de datos

Periodo de la base de datos	2013-2016	2013-2018
Nivel de deformación	400 μ s	600 μ s
Diferencia del Promedio	13%	7%
Diferencia de la Desviación Estándar	-3%	-7%
Diferencia del Cuartil 1 (Q₁)	12%	5%
Diferencia del Cuartil 2 (Q₂)	18%	10%
Diferencia del Cuartil 3 (Q₃)	7%	11%
Diferencia del Coeficiente de variación	-14%	-13%

Los resultados que se presentan en la Tabla 3, así como la Figura 5 y Figura 6, revelan un incremento tanto del promedio como de los cuartiles Q₁, Q₂ y Q₃ de los ciclos a falla para ambos niveles de deformación. Asimismo la desviación estándar se reduce, y de manera consistente, el coeficiente de variación disminuye, revelando una menor dispersión de los datos.

4 CONCLUSIONES

Los análisis anteriores demuestran claramente que en los últimos dos años se ha generado un incremento en el desempeño a la fatiga de las mezclas asfálticas evaluadas en laboratorio, lo cual puede estar asociado a distintos procesos de modernización e implementación de nuevas tecnologías relacionadas a la incorporación de mezclas con asfaltos modificados. Por tanto, la evidente capacidad de producción de mezclas con mejor desempeño presume que los requisitos de aceptación a la fatiga para futuras especificaciones pueden incrementarse, en busca de impulsar mezclas con alto desempeño más competentes.



5 REFERENCIAS

AASHTO T 321. Standard Method of Test for Determining the Fatigue Life of Compacted Asphalt Mixtures Subjected to Repeated Flexural Bending. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2017.

Di Benedetto, H., De La Roche, C., Baaj, H., Pronk, A., & Lundström, R. (2004). Fatigue of bituminous mixtures. *Materials and structures*, 37(3), 202-216.

Li, N., Pronk, A. C., Molenaar, A. A. A., van de Ven, M. F. C., & Wu, S. (2013). Comparison of uniaxial and four-point bending fatigue tests for asphalt mixtures. *Transportation Research Record*, 2373(1), 44-53.

Mandapaka, V., Basheer, I., Sahasi, K., Vacura, P., Tsai, B. W., Monismith, C. L., ... & Ullidtz, P. (2015). Application of four-point bending beam fatigue test for the design and construction of a long-life asphalt concrete rehabilitation project in Northern California. *Semiconductor Laser Theory*, 51.

Tangella, S. R., Craus, J., Deacon, J. A., & Monismith, C. L. (1990). Summary report on fatigue response of asphalt mixtures (No. SHRP-A-312).

5.1 Informes de laboratorio

LanammeUCR (2013). No. de informe I-0261-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-0140-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-0329-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe DG 9.5 CP I-0488-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe DF 9.5 CP I-0488-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe DF 9.5 SP I-0488-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe DG 9.5 SP I-0488-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe DG 12.5 SP I-0775-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe DF 12.5 SP I-0775-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LM-PI-UMP-078-R1	Mayo de 2018	Página 12 de 15
------------------	--------------	-----------------



LanammeUCR (2013). No. de informe DG 12.5 CP I-0775-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe DF 12.5 CP I-0775-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-0521-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-0444-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-0989-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-0966-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-0966-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-0979-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-1053-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe UP72 I-1086-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-1152-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-1373-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-1420-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2013). No. de informe I-1421-13. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2014). No. de informe I-0070-14. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2014). No. de informe I-0018-14. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2014). No. de informe I-1373-14. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2014). No. de informe I-1377-14. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0018-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0020-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0023-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0044-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.



LanammeUCR (2015). No. de informe I-0176-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-200-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0079-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0091-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0203-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0301-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0302-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0303-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0379-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0673-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-1273-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0845-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0832-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-0749-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-1054-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-1159-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-1269-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-1270-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-1271-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-1272-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-1376-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.

LanammeUCR (2015). No. de informe I-1487-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.



- LanammeUCR (2015). No. de informe I-1489-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR (2015). No. de informe I-1596-15. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR (2016). No. de informe I-0010-16. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR (2016). No. de informe I-0118-16. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR (2016). No. de informe I-0552-16. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR (2016). No. de informe I-0597-16. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR (2016). No. de informe I-0660-16. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR (2016). No. de informe I-0913-16. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR (2016). No. de informe I-0982-16. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR (2017). No. de informe I-0894-17. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR (2017). No. de informe I-1238-17. *Informe de Ensayo*. San José, Costa Rica.