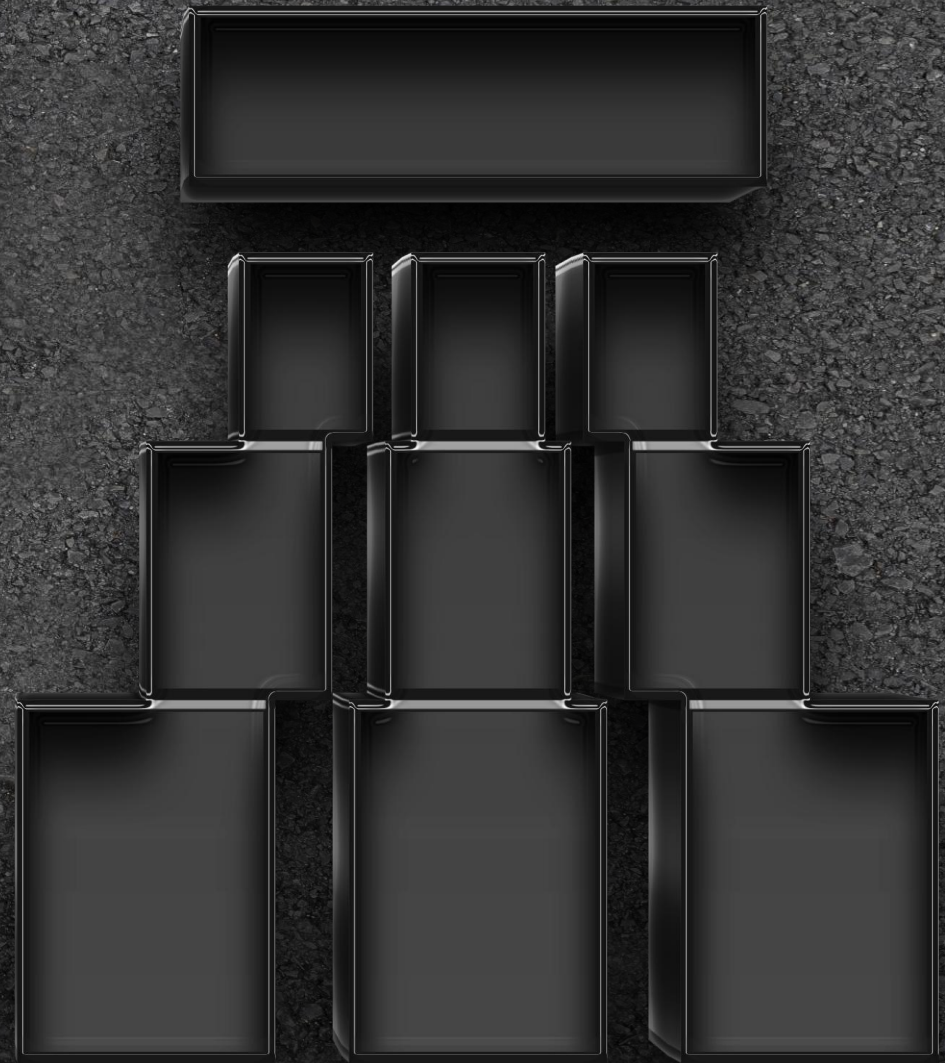




XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México

Evaluación comparativa de la resistencia a fatiga (4PBT) de mezclas asfálticas con el uso de diversos materiales reciclados y asfaltos con y sin polímero

M.I. Alfonso Díaz Pichardo



XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México

CONTENIDOS



01

Introducción

02

Objetivo

03

Plan de trabajo y diseño de mezclas

04

Metodología del estudio

05

Análisis de resultados

06

Conclusiones



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.

@AMAACmx

<http://www.amaac.org.mx>

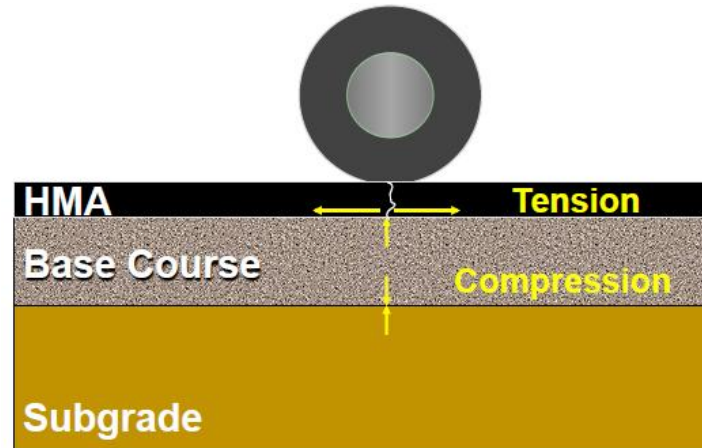


INTRODUCCIÓN

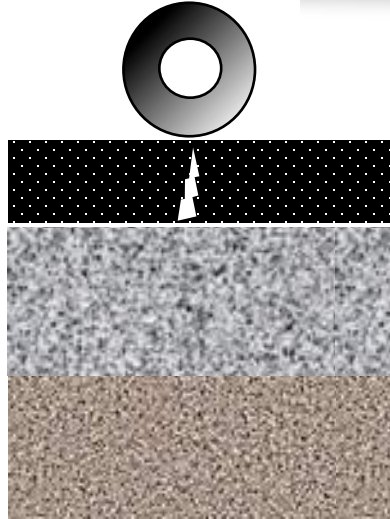
- El daño por fatiga es uno de los principales deterioros en los pavimentos asfálticos, además del agrietamiento térmico y la deformación permanente.
- El agrietamiento por fatiga son una serie de grietas interconectadas



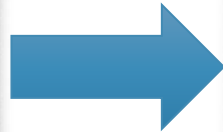
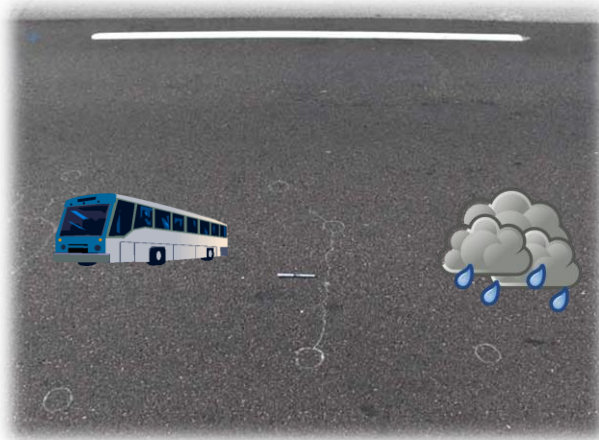
- Cargas repetidas del tráfico
- Esfuerzos de tensión.
- Disminución de la integridad estructural de la capa.
- Agrietamiento.



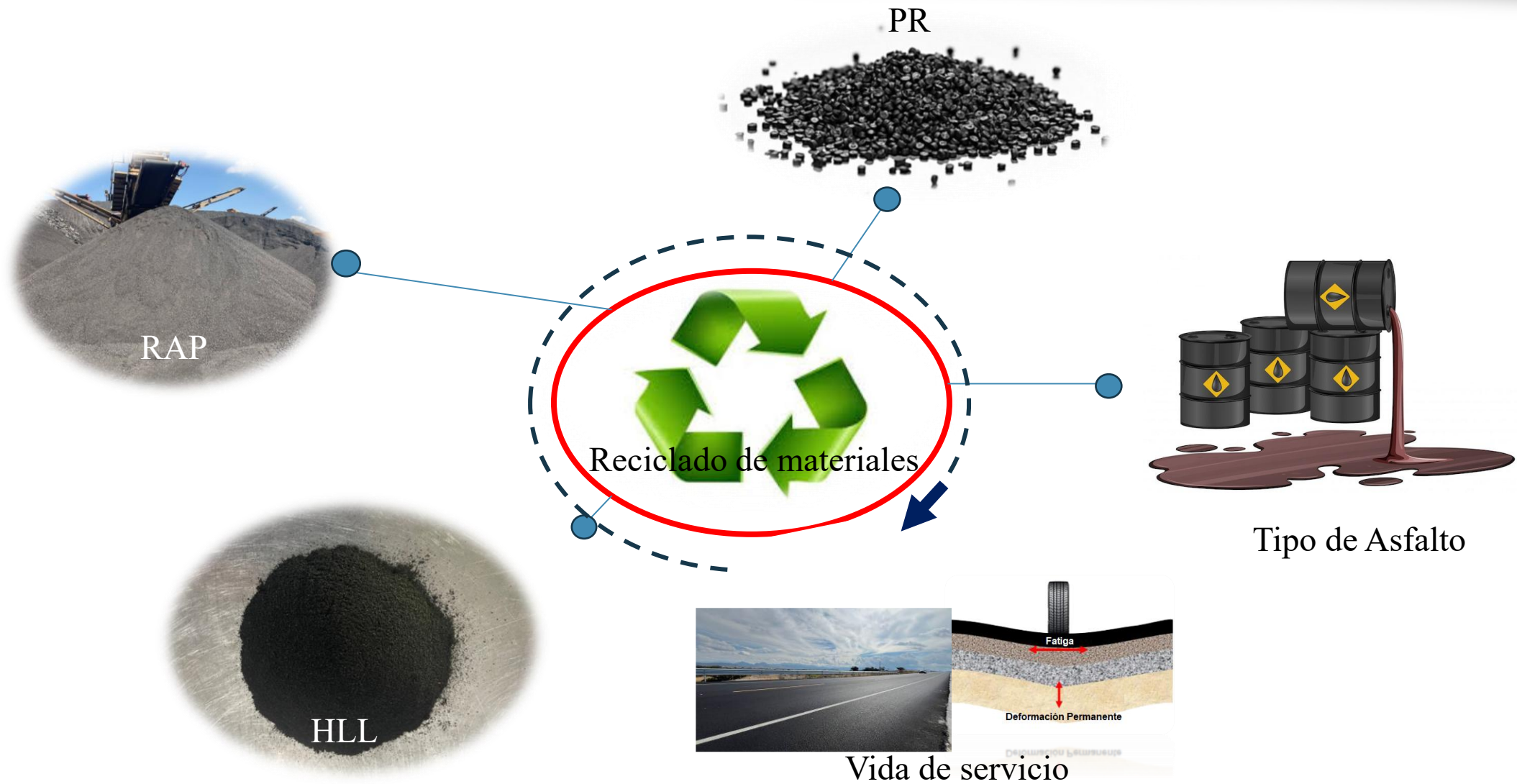
Proceso de Fatiga en mezclas asfálticas



- Aparición intermitente de grietas aisladas
- Grietas interconectadas “piel de cocodrilo”.
- Desprendimiento de bloques (formación de baches)



INTRODUCCIÓN



OBJETIVO

Analizar el comportamiento de mezclas asfálticas mediante la prueba de fatiga 4PBT

Características principales

- Incorporación de materiales reciclados
 - RAP (diferentes dosificaciones, fuentes y grados de envejecimiento)
 - Plástico reciclado (PR)
 - Hule de llanta (HLL)
- Uso de diferentes tipos de asfaltos
 - Convencional
 - Modificado con polímero
- Clasificación en 4 grupos según el material reciclado
- Cada grupo se compara contra una mezcla de referencia con desempeño óptimo



PLAN DE TRABAJO

Grupo	Mezcla	PG asfalto	Polímero	%RAP	PR	HLL
1	FDT Control	PG76V-22	Si	0	No	No
	FDT 20RAP	PG70V-28	Si	20	No	No
2	FDT Control	PG76V-22	Si	0	No	No
	FDT 30RAP	PG70V-28	Si	30	No	No
3	FDT Control	PG76V-22	Si	0	No	No
	PG64-22+PR	PG64-22	No	0	Si	No
	PG58-28+PR	PG58-28	No	0	Si	No
4	FDT Control	PG76-22	Si	0	No	No
	FDT híbrido	PG76-22	Si	0	No	Si
	PG64-22+HLL (vía seca)	PG64-22	No	0	No	Si
	PG64-22 +HLL pretratado	PG 64-22	No	0	No	Si

Diseño de mezclas

- Grupo 1. Evaluación de la incorporación de 20% de RAP

Mezcla	Banco de agregados pétreos	Tipo de granulometría a Tamaño nominal	Fuente de RAP	Grado de envejecimiento del RAP	PG del asfalto	Cont. óptimo de Asfalto (%)	Asfalto de aporte (%)	Asfalto que aporta el RAP (%)
FDT Control	Gravase-Coronilla	Densa, 1/2"	-	-	PG 76V-22	5.4	5.4	0
FDT 20RAP	Gravase-Coronilla	Densa, 1/2"	Autopista Lagos de Moreno-Guadalajara	109.6-13.3	PG 70V-28	5.3	4.0	1.3

- Grupo 2. Evaluación de la incorporación de 30% de RAP

Mezcla	Banco de agregados pétreos	Tipo de granulometría a Tamaño nominal	Fuente de RAP	Grado de envejecimiento del RAP	PG del asfalto	Cont. óptimo de Asfalto (%)	Asfalto de aporte (%)	Asfalto que aporta el RAP (%)
FDT Control	Km 273	Densa, 1/2"	-	-	PG 76V-22	6.7	6.7	0
FDT 30RAP	Km 273	Densa, 1/2"	Autopista Maravatio - Zapotlanejo	85.5 -16.7	PG 70V-28	6.4	4.3	2.1

Diseño de mezclas

- Grupo 3.- Evaluación de la incorporación de plástico reciclado (PR)

Mezcla	Banco de agregados pétreos	Tipo de granulometría Tamaño nominal	PG del asfalto	Cont. óptimo de Asfalto (%)	Contenido de PR (% BPA)
FDT Control	Gravase-Coronilla	Densa, 1/2"	PG 76V-22	5.0	0
PG 64-22 + P	Gravase-Coronilla	Densa, 1/2"	PG 64-22	4.8	5.0
PG 58-28 + P	Gravase-Coronilla	Densa, 1/2"	PG 58-28	4.8	5.0

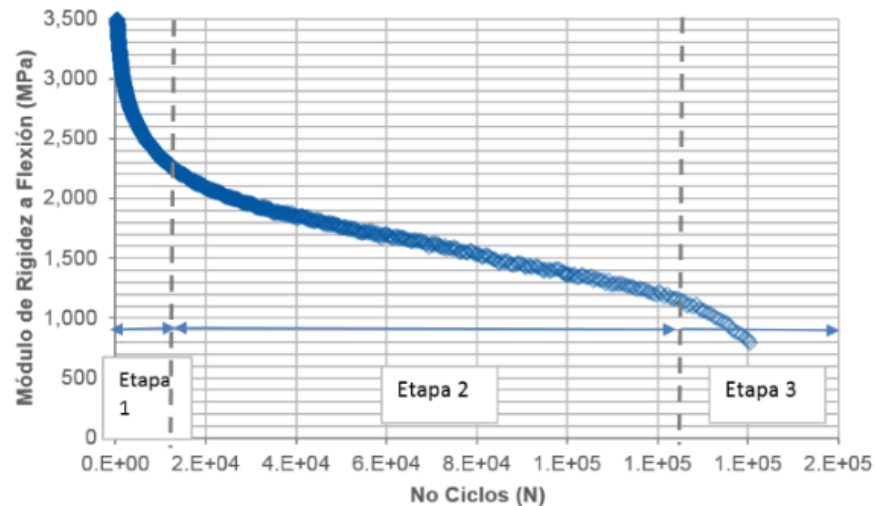
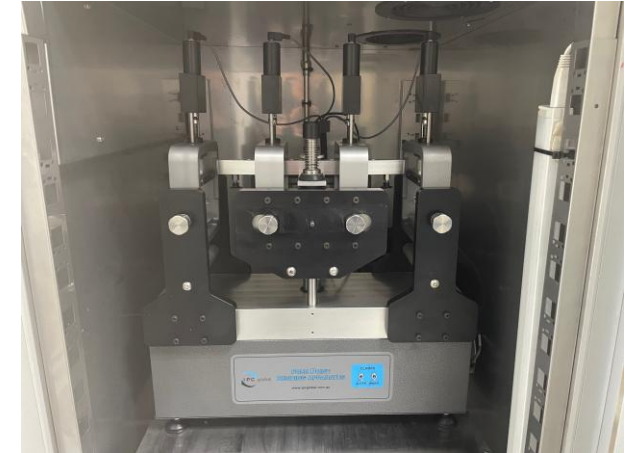
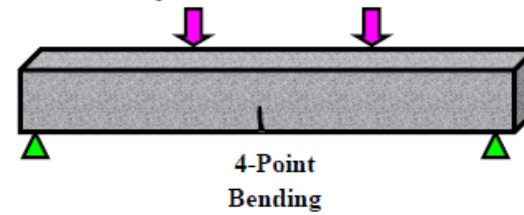
- Grupo 4. Evaluación de la adición de Hule de llanta (HLL)

Mezcla	Banco de agregados pétreos	Tipo de granulometría Tamaño nominal	PG del asfalto	Cont. óptimo de Asfalto (%)	Contenido de HLL(% BPA)
FDT Control	Atlipac	Escalonada	PG 76-22	6.6	0
FDT Híbrido	Atlipac	Escalonada	PG 76-22	6.6	0.46
PG64-22+HLL (vía seca)	Atlipac	Escalonada	PG64-22	6.3	1.86
PG64-22+HLL pretratado	Atlipac	Escalonada	PG64-22	6.5	1.86

Metodología del estudio

Viga a Flexión en Cuatro Puntos

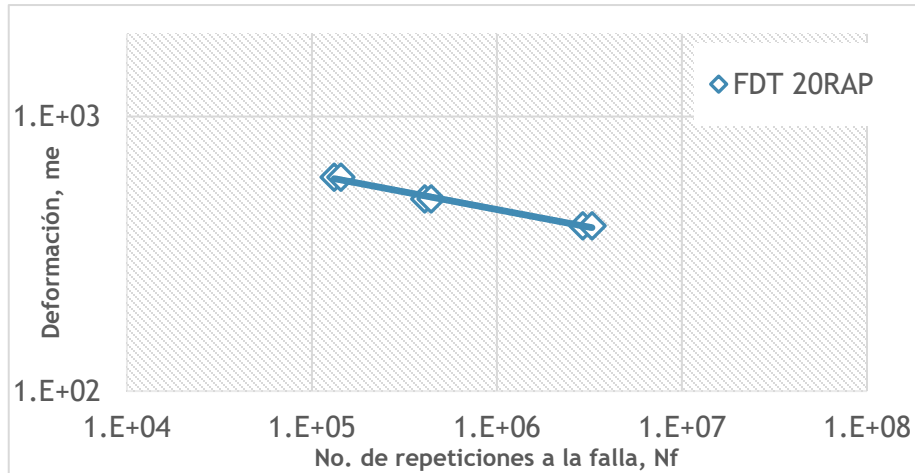
- AASHTO T321
- Temperatura de prueba: 20°C
- Frecuencia aplicación de carga: 10Hz
- Falla: 50% reducción rigidez inicial



- Etapa 1: Calentamiento
- Etapa 2: Fatiga
- Etapa 3: Ruptura



Límite de resistencia a fatiga (FEL)

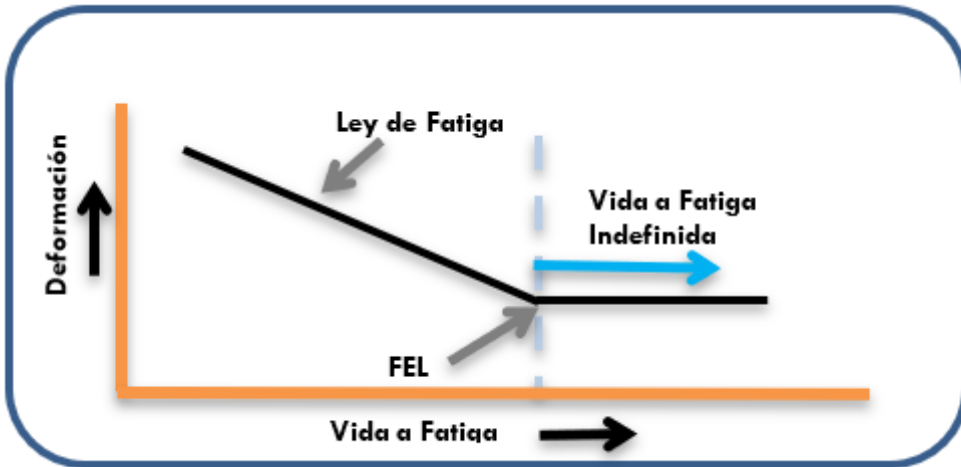


Recommended Control Strain
Distribution and Strain Ratios (Tran et
al., 2015)



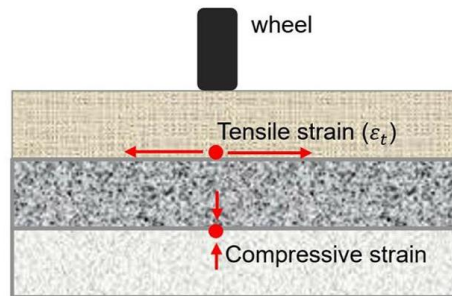
Percentile	Microstrain	Strain Ratio
95	-257	1.73
85	-194	1.31
75	-158	1.06
65	-131	0.88
55	-110	0.74

El FEL tiene una importancia trascendental en estructuras de pavimentos de larga duración. Derivada de la variación de cargas, estaciones del año, envejecimiento del asfalto y otros factores que inciden en este tipo de pavimento, el NCAT propone distintos umbrales de deformación expresados en percentiles. Por ejemplo, un percentil 95, significa que el 95% de las deformaciones en el pavimento tienen que estar por debajo de -257 micras. Esta distribución de deformaciones es más realista y apegada a las condiciones a la que está sometido el pavimento.



Diseño de pavimentos Empírico-Mecanicista

Las metodologías empírico-mecanicistas o racionales utilizan en su estructura analítica funciones de transferencia o leyes por fatiga en los materiales asfálticos y leyes por deformación en los materiales granulares y suelos. Con ello es posible estimar si la estructura del pavimento cumple o no con el tránsito del proyecto en el periodo de análisis (ESALS). Esas funciones de transferencia están asociadas a las deformaciones que se generan en el pavimento



Las leyes de fatiga parten del protocolo de ensaye a 4 puntos. Metodologías como PerRoad 4.4, IMT PAVE 3.2 permiten incorporar los parámetros de la ley de fatiga con el objeto de realizar diseños de pavimentos más realistas y confiables.

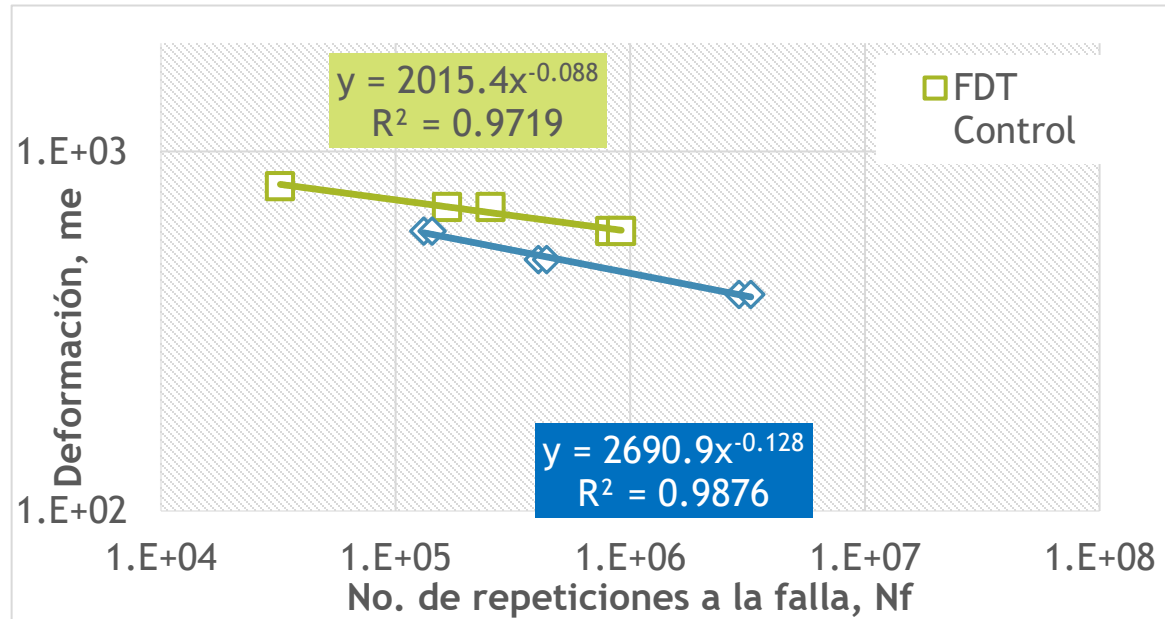
Modelos de Deterioro: Fatiga, Deformación
Herramientas: IMT, Avanzado
Modelo de Deterioro Avanzado: F1=, F2=, Cancelar, Aceptar

*Coefficientes
ley de fatiga
4 puntos*

Layer Performance Criteria (Press F1 for Help)
Layer: 2
Position: Bottom
Criteria: Horizontal Strain
Threshold: -120 microstrain
Target Percentile: []
Transfer Function: []
k1: 2.83e-006
k2: 3.15
Note: The transfer functions are for strain only.
Note: The following sign convention is used...
Negative = Tension
Positive = Compression
Deflection is Positive Downward
Cancel Changes, Accept Changes

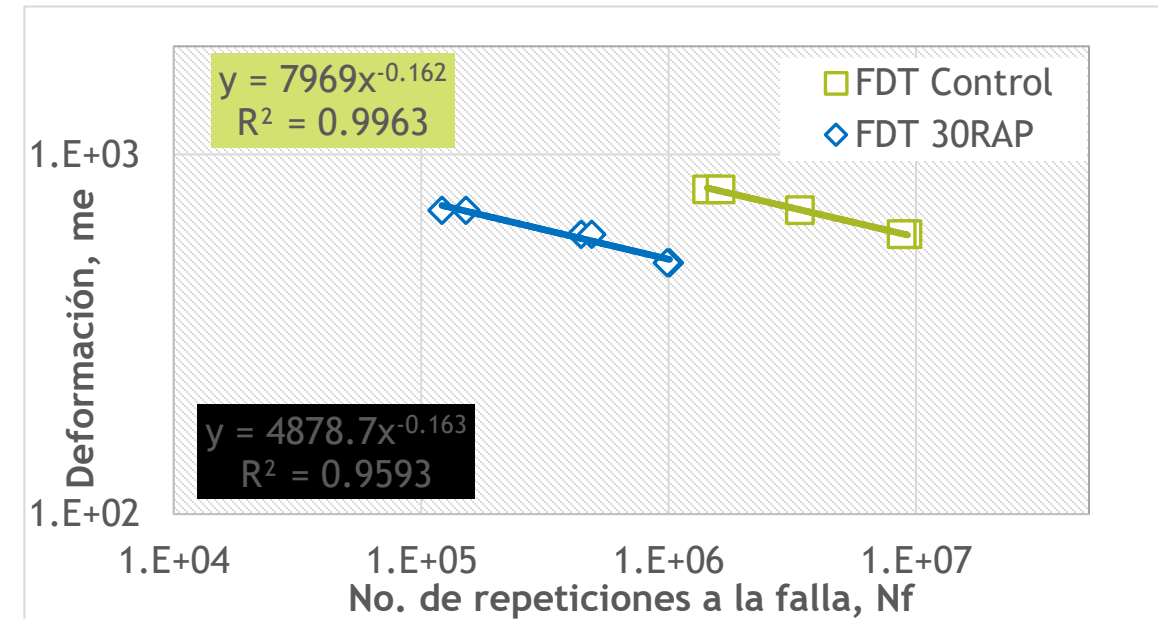
Resultados

Grupo 1: Evaluación de una mezcla con 20% de RAP



Límite de resistencia a la fatiga (FEL)		Referencia
FDT Control	375	≥180
FDT 20RAP	256	≥180

Grupo 2: Evaluación de una mezcla con 30% de RAP



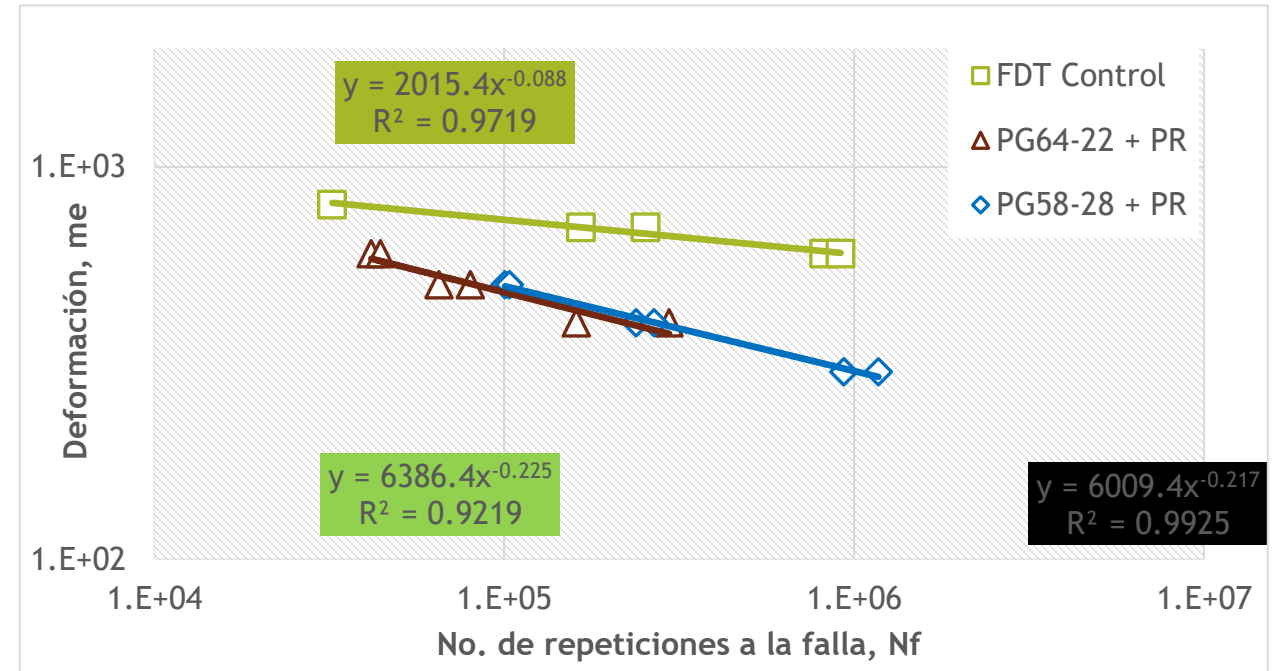
Límite de resistencia a la fatiga (FEL)		Referencia
FDT Control	473	≥180
FDT 20RAP	223	≥180

Resultados

- Grupo 3: Evaluación de la adición de plástico reciclado en HMA

Deformación promedio (me)	Rigidez Inicial (MPa)			Ciclos a la falla, Nf		
	FDT Control	PG64-22+P	PG58-28+P	FDT Control	PG64-22+PR	PG58-28+PR
300	---	---	5,738	---	---	1,054,519
400	---	5,588	5,621	---	228,408	253,422
500	---	5,426	5,487	---	72,623	102,078
600	3,989	5,225	---	868,880	43,006	---
700	3,678	---	---	210,028	---	---
800	3,876	---	---	32,266	---	---

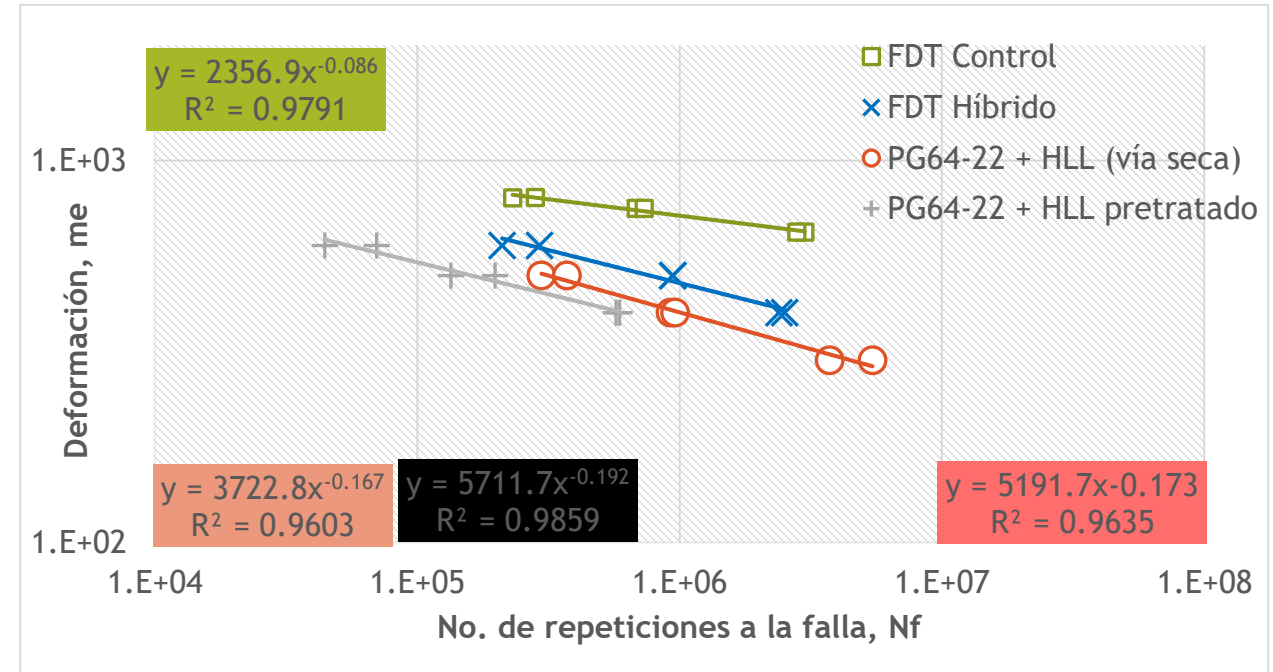
Límite de resistencia a la fatiga (FEL)		Referencia
FDT Control	375	≥180
PG64-22+PR	72	
PG58-28+PR	114	



Resultados

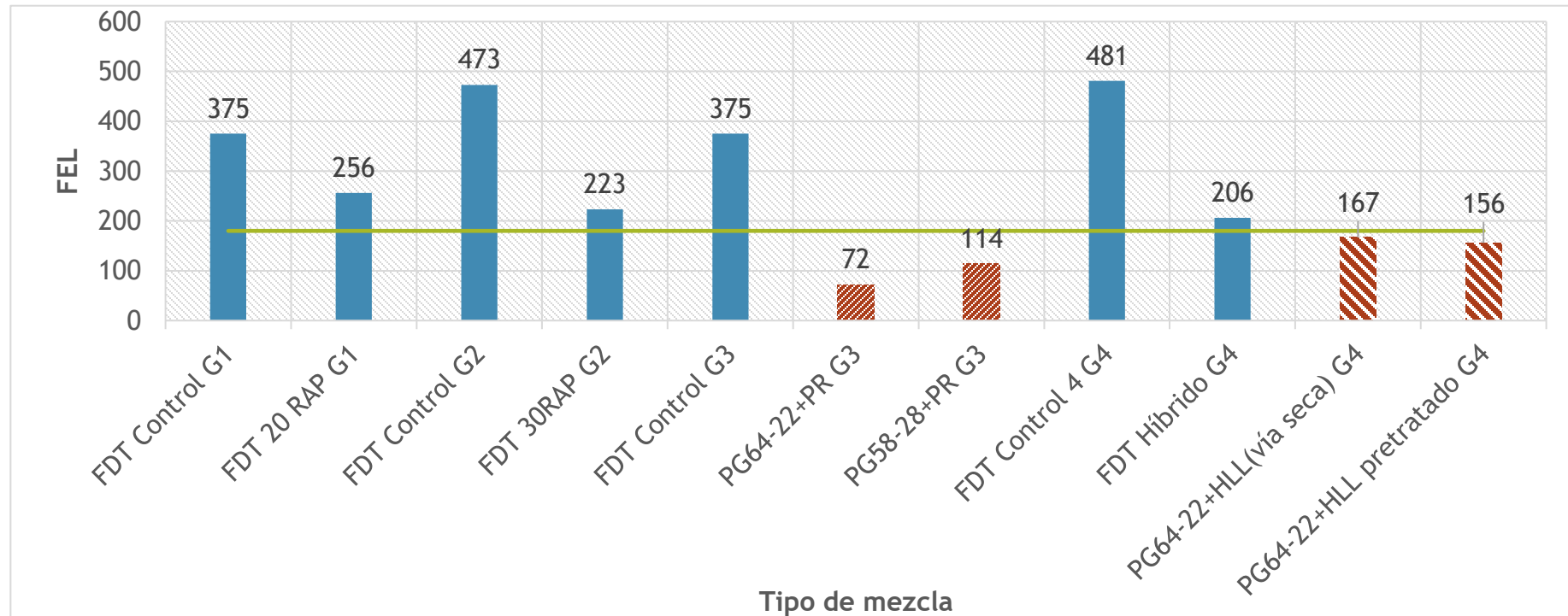
- Grupo 4: Evaluación de tres métodos de adición de HLL usando asfalto con y sin polímero.

Deformación promedio (me)	Ciclos a la falla, Nf			
	FDT Control	FDT Híbrido	PG64-22+HLL (Vía seca)	PG64-22+HLL pretratado
300	---	---	4,589,053	---
400	---	2,453,060	944,234	582,171
500	---	942,252	335,179	166,190
600	---	251,702	---	57,198
650	2,900,000	---	---	---
750	708,309	---	---	---
800	256,616	---	---	---



Límite de resistencia a la fatiga (FEL)		Referencia
FDT Control	481	≥180
FDT Híbrido	206	
PG64-22 + HLL VS	167	
PG64-22+HLL pretratado	156	

Resultados de FEL



Conclusiones

- La prueba 4PBT fue sensible a la incorporación de diferentes materiales reciclados en las mezclas asfálticas, funcionando adecuadamente para diferenciar el comportamiento a fatiga.
- En todos los grupos de mezclas evaluadas, la mezcla de referencia con PMA (FDT Control) presentó el mejor comportamiento a fatiga, con los valores más altos de ciclos a la falla y de FEL, superando consistentemente el umbral de 180 $\mu\epsilon$.
- Las mezclas con adición de RAP cumplieron satisfactoriamente con el umbral de fatiga establecido, lo cual se atribuye al uso de una metodología adecuada de análisis y diseño de RAP, así como a la correcta selección y formulación de materiales.
- Las mezclas con adición de PR mostraron un aumento en rigidez, sin embargo, fueron las mezclas que mayor caída en FEL y ciclos a la falla presentaron en comparación con la mezcla control. No obstante, se observó una mejora en estos parámetros al utilizar un asfalto base de menor grado desempeño (PG58-28) en lugar de PG64-22 sin llegar a alcanzar el valor objetivo de FEL propuesto. Esta combinación sugiere un mejor balance entre la rigidez aportada por el PR y la mayor flexibilidad del asfalto PG58-28.

Conclusiones

- El uso de HLL en la mezcla como modificador único no permitió cumplir con los parámetros de fatiga establecidos, sin embargo, cuando se combinó con SBS, se logró alcanzar los niveles de desempeño requeridos, evidenciando la sinergia positiva entre ambos modificadores.
- Se confirma la importancia de seleccionar adecuadamente los materiales y de considerar tanto las limitaciones como las ventajas de uso de materiales reciclados, con el fin de promover un uso racional y sostenible en el diseño y construcción de mezclas asfálticas.
- El estudio mostró que las mezclas que contenían un asfalto modificado con polímero con o sin material reciclado logran mejorar el comportamiento a fatiga.

¡ muchas gracias!

Ponente: M.I. Alfonso Díaz Pichardo

Contacto: alfonso.diaz@ergon.com

