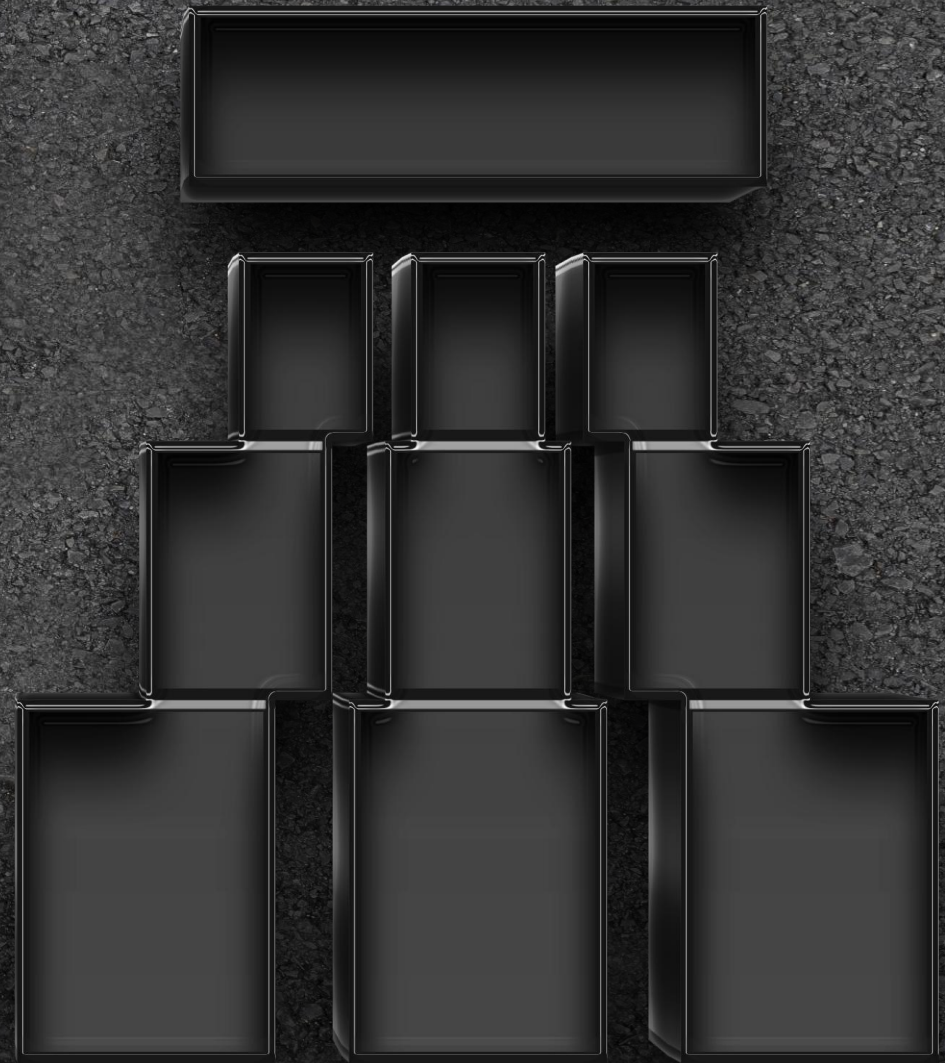




XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México

Fase de implementación en campo de la tecnología de mezcla asfáltica templada con 100% material recuperado de pavimentos (RAP)

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 del estudio



03 Producción de la mezcla en planta



04 Tramo de prueba



05 Análisis de resultados



06 Conclusiones



INTRODUCCIÓN



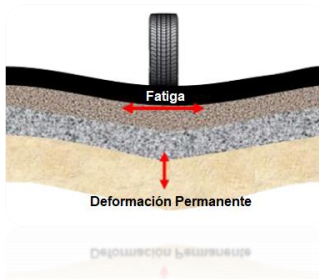
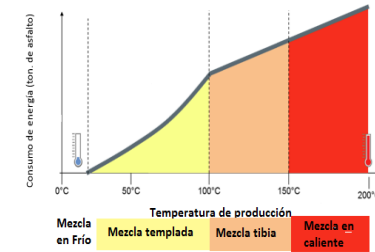
Producción

Identificación



Implementación

Diseño

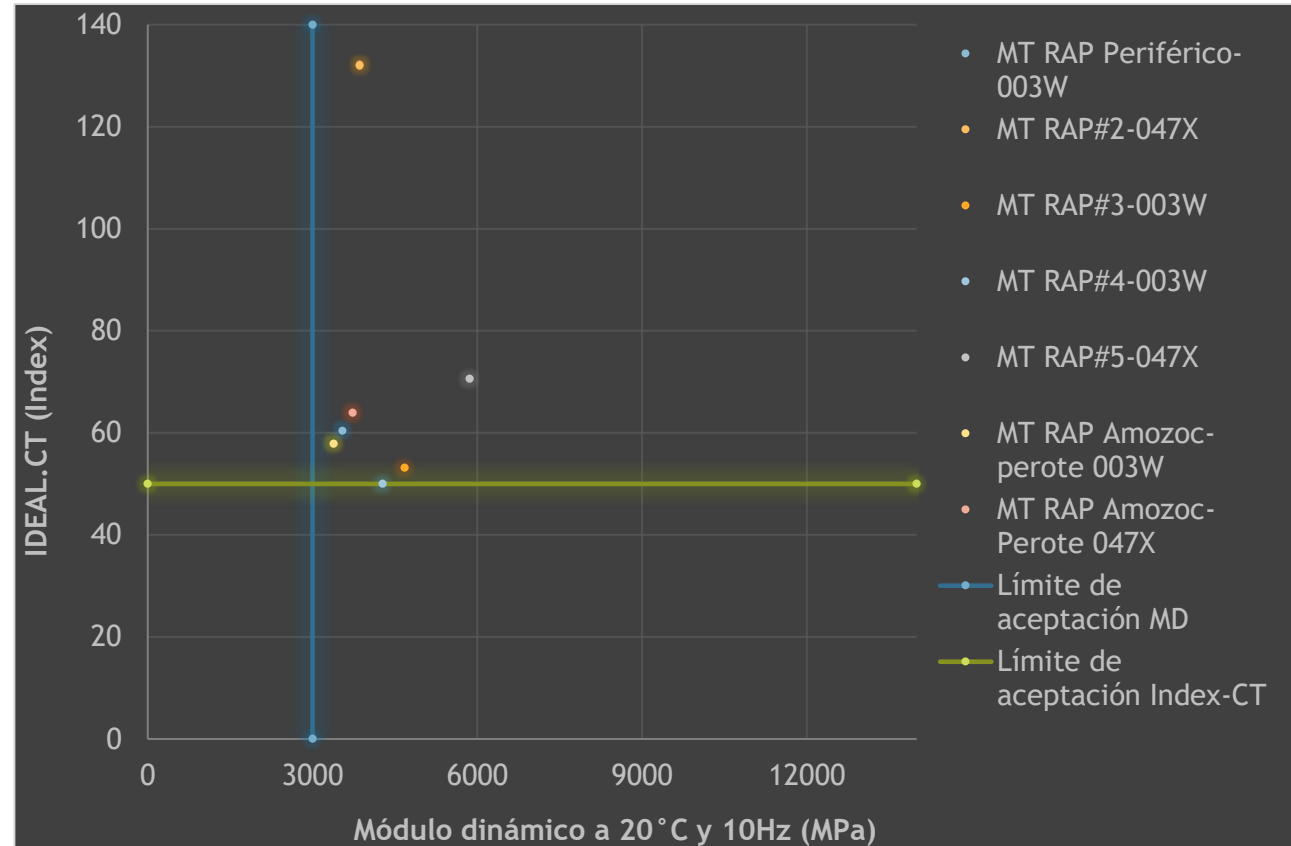


Roadway Functional Classification		Performance Grade	
Vehicle Classification	% ADTT	Single	Truck
4	12	1.32	0.33
5	14	2	0.5
6	23	1.02	0.36
7	34	1	0.36
8	74	2.30	0.97
9	663	1.13	1.03
10	12	1.15	1.06
11	67	4.29	0.36
12	69	3.02	1.14
13	172	2.75	0.36
Total	100		



ANTECEDENTES

- Validación a nivel laboratorio
- Se fijaron límites de resistencia para un comportamiento adecuado de la mezcla: $M.D \geq 3500$ MPa, $Index-CT \geq 50$ y $FEL > 180 \mu\epsilon$.
- La trabajabilidad de la mezcla es similar a la de una HMA entre un rango de temperaturas de 80°C a 50°C



OBJETIVO DEL ESTUDIO



- El objetivo de este trabajo es llevar a cabo la implementación a escala real de la tecnología HWMA con 100% RAP, monitoreando las etapas de; producción, transporte, tendido, así como su posterior evaluación de desempeño, con el fin de validar su calidad y comportamiento en condiciones reales de servicio.



PRODUCCIÓN EN PLANTA

- Planta doble barril (con ajustes especiales)
- Producción a una velocidad de 60-70 Ton/hora
- Temperatura de calentamiento del RAP = 110°C
- Temperatura de inyección de la emulsión = 60°C
- Temperatura de salida de la mezcla templada = alrededor de 80°C



TRAMO DE PRUEBA

- Autopista Zapotlanejo – Guadalajara (Vía tipo A4)
TDPA por sentido = 4949 Vehículos (88.5% ligeros y 11.5% pesados)
ESAL's para un periodo de 15 años = 16.1 millones
- Tramo de 50 metros de longitud por todo el ancho del cuerpo (10.5 metros)
- Km 1+473 al km 1+523 del cuerpo A
- Construcción de la capa de base con un espesor de 20 cm compactos
- Tendido de la base en dos capas de 10 cm C/U.
- Tendido y aplicación de riego de liga con extendedora de riego sincronizado
- Compactación en dos etapas:
 - 5 cerradas con rodillo liso vibratorio por capa
 - 5 cerradas con rodillo neumático por capa



TRAMO DE PRUEBA

- Video del tendido y compactación



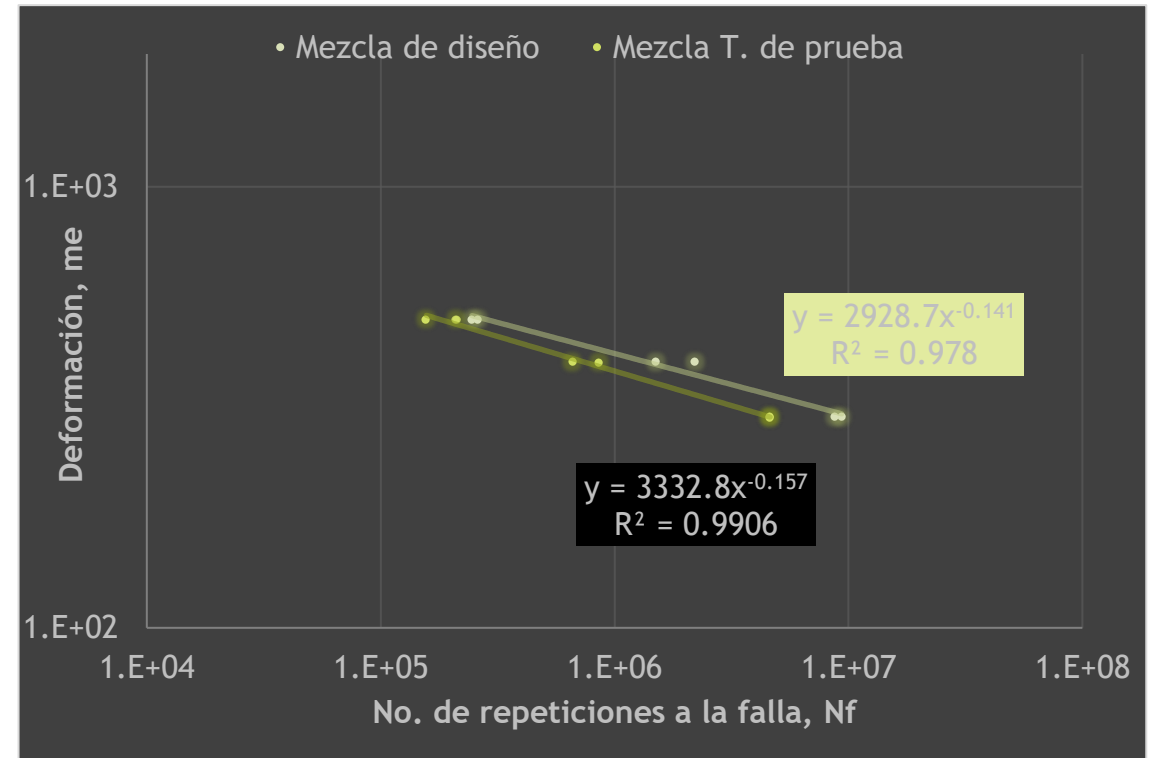
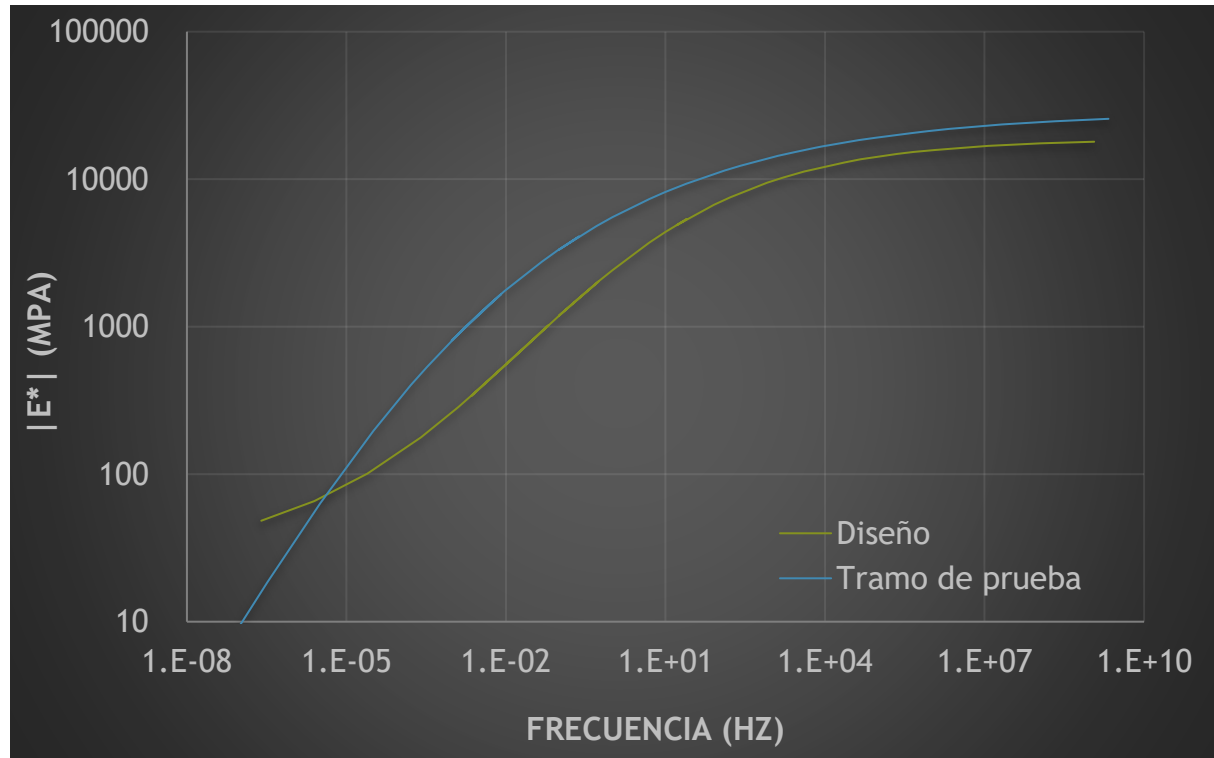
ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Muestreo de mezcla producida en planta y compactada en laboratorio.



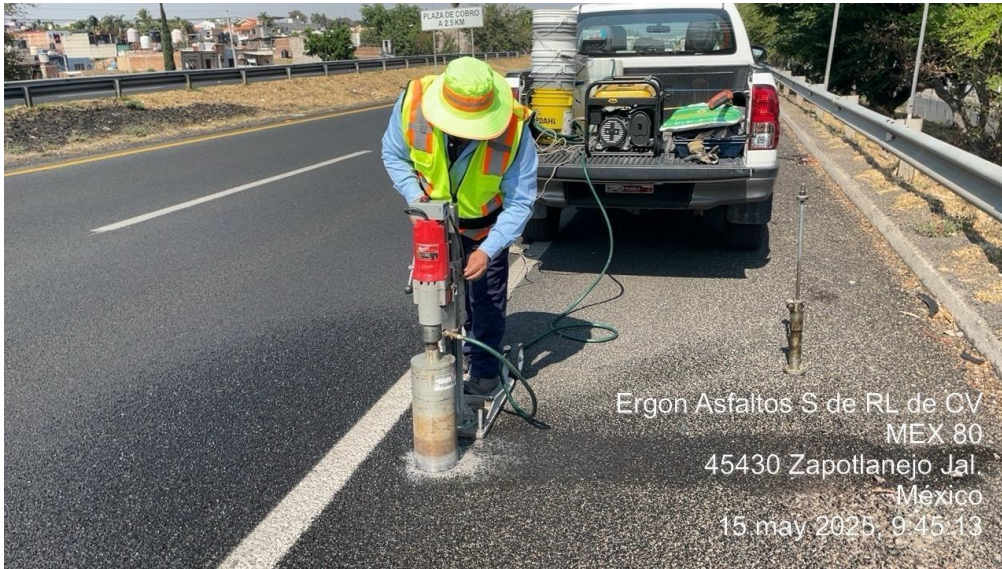
Propiedad	Normativa	Mezcla de diseño	Mezcla de obra
Contenido de emulsión (%)	ASTM D6307	3.0	3.5
Esfuerzo en seco (KPa)	AASHTO T-283	577.4	1322.5
Esfuerzo en húmedo (KPa)	AASHTO T-283	446.2	1002.5
% TSR	AASHTO T-283	77	76
Index-CT	ASTM D8225	49	44.3
Módulo dinámico 20°C, 10Hz	AASHTO T-342	4283	7484
FEL (ms)	AASHTO T-321	214	192

Curva Maestra y Ley de fatiga



ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Extracciones de campo



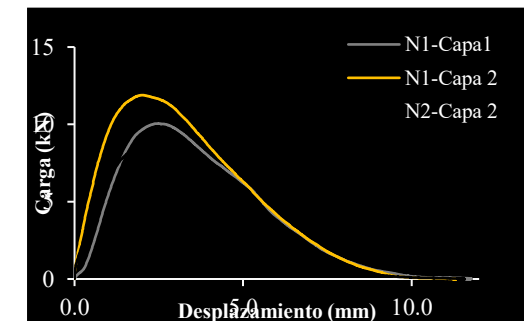
Espécimen	Densidad específica bruta (Gmb)	Densidad teórica máxima (Gmm)	Vacíos de aire recién construido (Va)	Vacíos de aire a 6 meses de servicio (Va)
Capa 1	2.152	2.404	10.50%	10.71
Capa 2	2.161		10.12%	11.65
Capa 1	2.124		12.22%	11.36

Extracciones tramo recién construido

ID ESPÉCIMEN	Módulo Dinámico				Ángulo de Fase	
	$ E^* $ (MPa)	Promedio $ E^* $ MPa	C.V. %	f (Grados)	Promedio f (Grados)	Desv. Est. (Grados)
Km 1+500 - 1	3,610	3,385	5.8	16.36	16.5	0.1
Km 1+500 - 2	3,302			16.43		
Km 1+500 - 3	3,242			16.61		

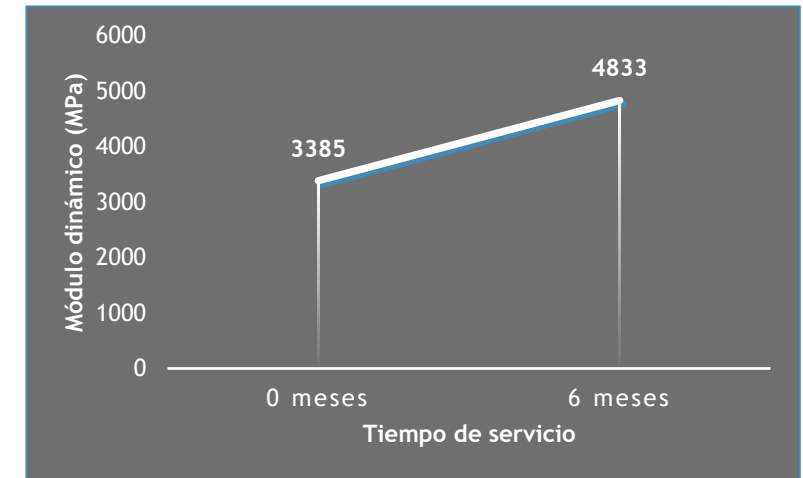


ID Espécimen	% V.a	Carga Pico	IDEAL-CT index	IDEAL CT INDEX Promedio	IDEAL-CT COV
		kN	-	-	%
N1-Capa 1	10.50%	10.06	82.71	68.90	17.50%
N1-Capa 2	10.12%	11.89	63.54		
N2-Capa 2	12.22%	8.56	60.45		

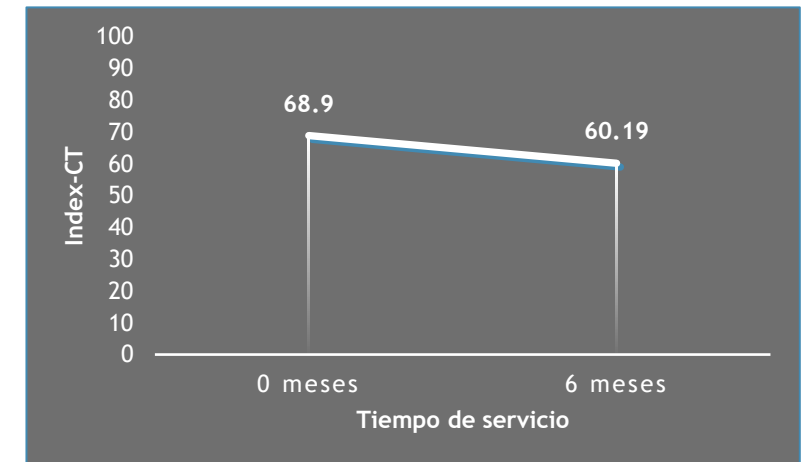


Resultados a 6 meses de servicio

ID ESPECÍME N	Módulo Dinámico				Ángulo de Fase	
	E* (MPa)	Promedio E*	C.V.	f (Grados)	Promedio f	Desv. Est.
		MPa	%		(Grados)	(Grados)
Km 1+500 (6meses)	4837	4833	4.7	13.61	13.8	0.2
Km 1+500 (6meses)	4606			13.99		
Km 1+500 (6meses)	5056			13.72		



ID Espécimen	%V.a	Carga Pico	IDEAL-CT index	IDEAL CT INDEX Promedio	IDEAL-CT COV
		kN	-	-	%
N1-Capa 2	10.71%	13.73	62.50	60.19	8.07%
N2-Capa 1	11.65%	12.37	54.61		
N3-Capa 2	11.36%	11.89	63.47		

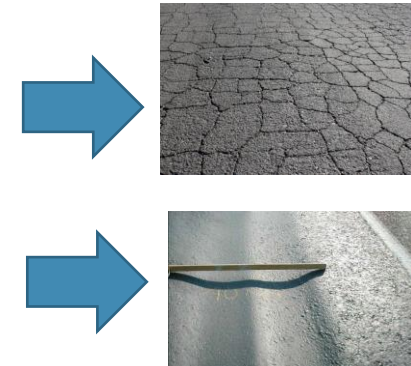
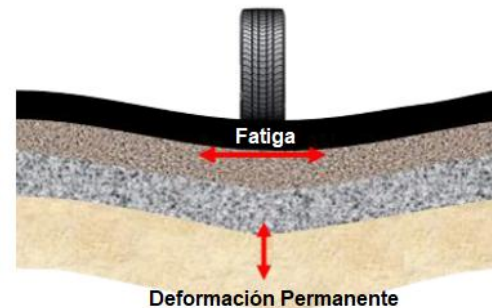


Evaluación por deflectometría



Capa	Módulo elástico (MPa)	RMS (%)
Carpeta asfáltica densa	4,784	1.9
Base templada (HWMA)	2,205	
Base Hidráulica	335	
Subbase hidráulica	201	
Capa subrasante	159	

*Datos de deflectometría proporcionados por el concesionario



> 15 años con un nivel de confianza del 90%

CONCLUSIONES

- La implementación a escala real de la HWMA con 100 % de RAP demostró ser técnicamente viable, tanto en términos de producción en planta como en su colocación y compactación en obra.
- Se demostró que es viable utilizar los mismos equipos de construcción para la HWMA que los normalmente usados para HMA.
- Los resultados de laboratorio mostraron que la mezcla de obra, incluso tras ser recalentada, presentó un comportamiento mecánico comparable al de la mezcla de diseño, cumpliendo con los criterios de desempeño en módulo dinámico, resistencia a la humedad (TSR) y fatiga (FEL).
- El índice de agrietamiento (Index-CT) de la mezcla recolectada en obra y posteriormente recalentada en el laboratorio fue ligeramente inferior al valor objetivo y también menor que el Index-CT de los especímenes extraídos directamente de la HWMA en obra. Aunque el valor de Index-CT de la mezcla recalentada se mantuvo dentro de un rango aceptable, los resultados evidencian que el proceso de recalentamiento afecta negativamente las propiedades de la mezcla.

CONCLUSIONES

- Se demostró que la HWMA incrementó su resistencia de MD en un 42.8% durante los primeros seis meses de puesta en servicio confirmando el proceso de ganancia de resistencia por fraguado, característico de mezclas con emulsión asfáltica.
- La mezcla de obra mantiene un valor de agrietamiento (Index-CT =60.2) superior al valor de referencia después de los seis meses de aplicación y puesta en servicio.
- Los módulos elásticos obtenidos por deflectometría en el pavimento con HWMA después del proceso de rehabilitación son muy similares a los obtenidos para materiales de bases negra (2,500 MPa). Con esta tecnología se obtuvo una vida remanente mayor a 15 años para el tramo carretero en estudio la cual está controlada por la fatiga en las capas asfálticas.
- El uso de 100 % RAP en la HWMA representa una solución alineada con los principios de economía circular, reduciendo el consumo de recursos naturales, las emisiones durante la producción y los costos asociados al mantenimiento vial

TRABAJO FUTURO



Los investigadores monitorearán el comportamiento del pavimento con HWMA durante la vida del proyecto.

Se realizarán nuevos tramos de prueba con HWMA con variaciones en tipo de plantas de producción, fuentes de RAP, solicitudes particulares de proyecto para validar el desempeño y entender las ventajas y limitaciones de la tecnología.

¡ muchas gracias!

Ponente: M.I. Alfonso Díaz Pichardo

Contacto: Alfonso.diaz@ergon.com

