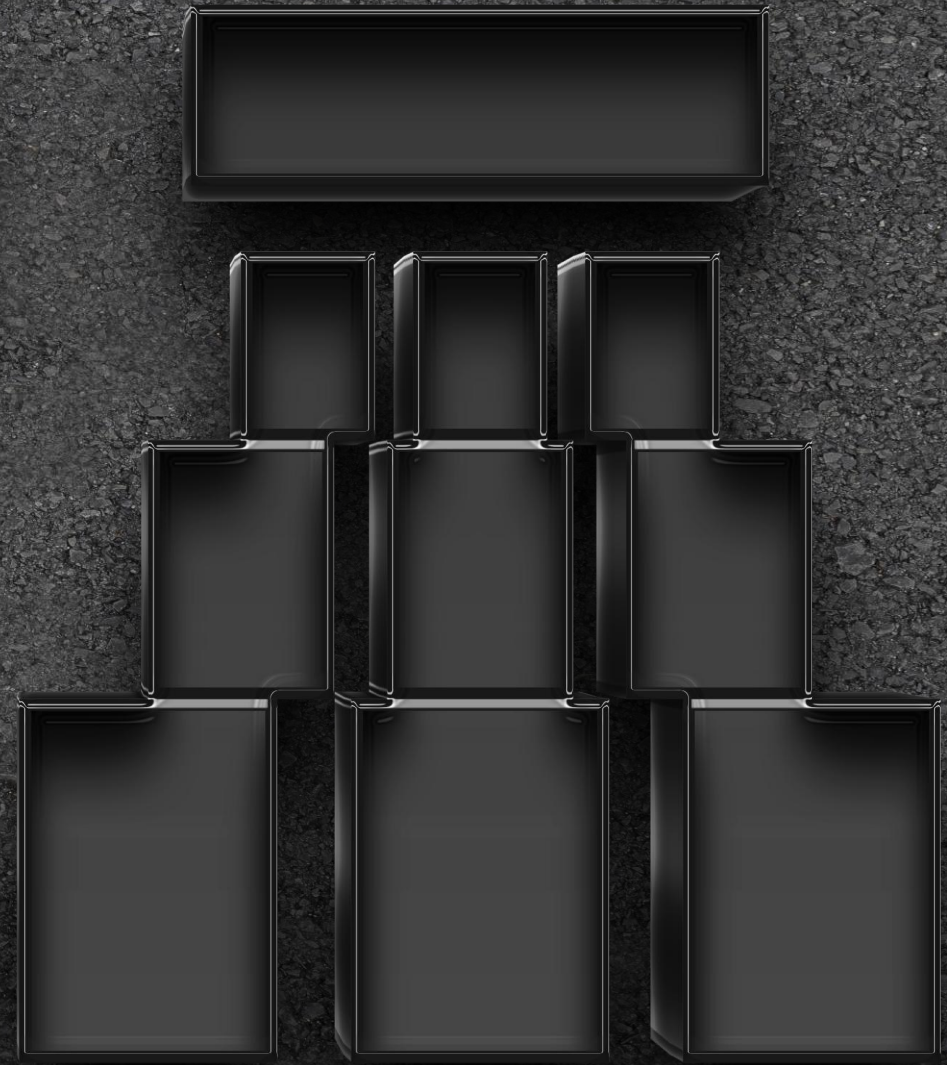




XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México

Tema:

**Experiencias en México en la
recuperación profunda de
pavimentos (FDR)**



Sergio Serment Moreno

xx de agosto 2025

Experiencias en México en la recuperación profunda de pavimentos (FDR)

Sergio Serment Moreno



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

CONTENIDOS



01

INTRODUCCIÓN

02

CASO DE ESTUDIO EMULSIÓN ASFÁLTICA

03

CASO DE ESTUDIO ÓXIDO DE CALCIO

04

CASO DE ESTUDIO ASFALTO ESPUMADO

05

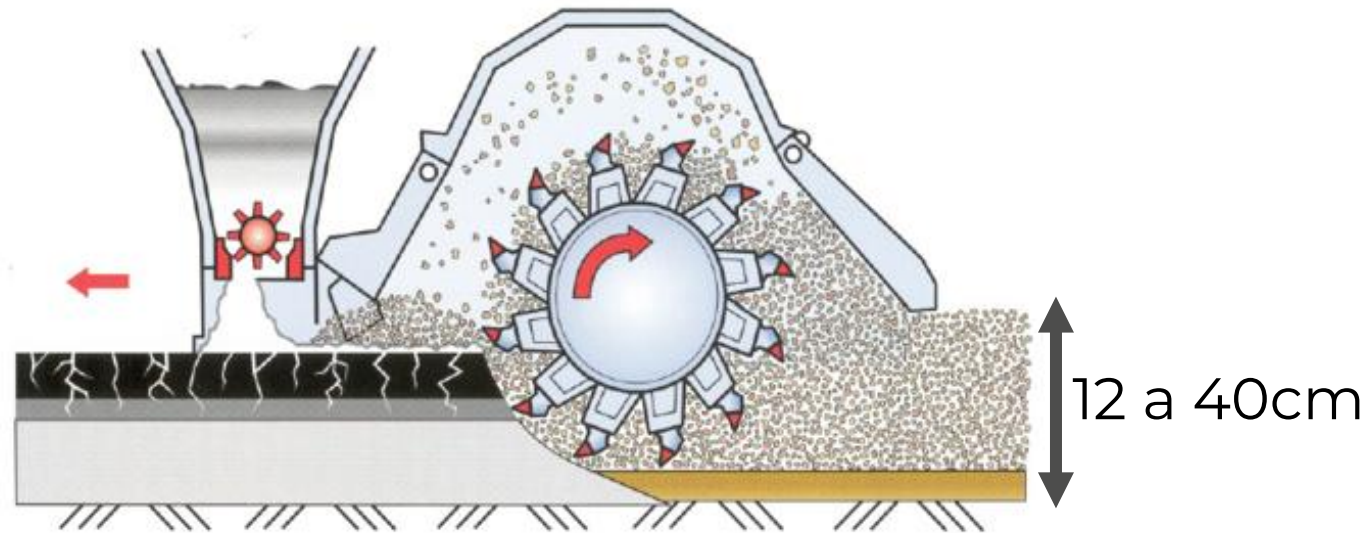
CONCLUSIONES

Bases recuperadas

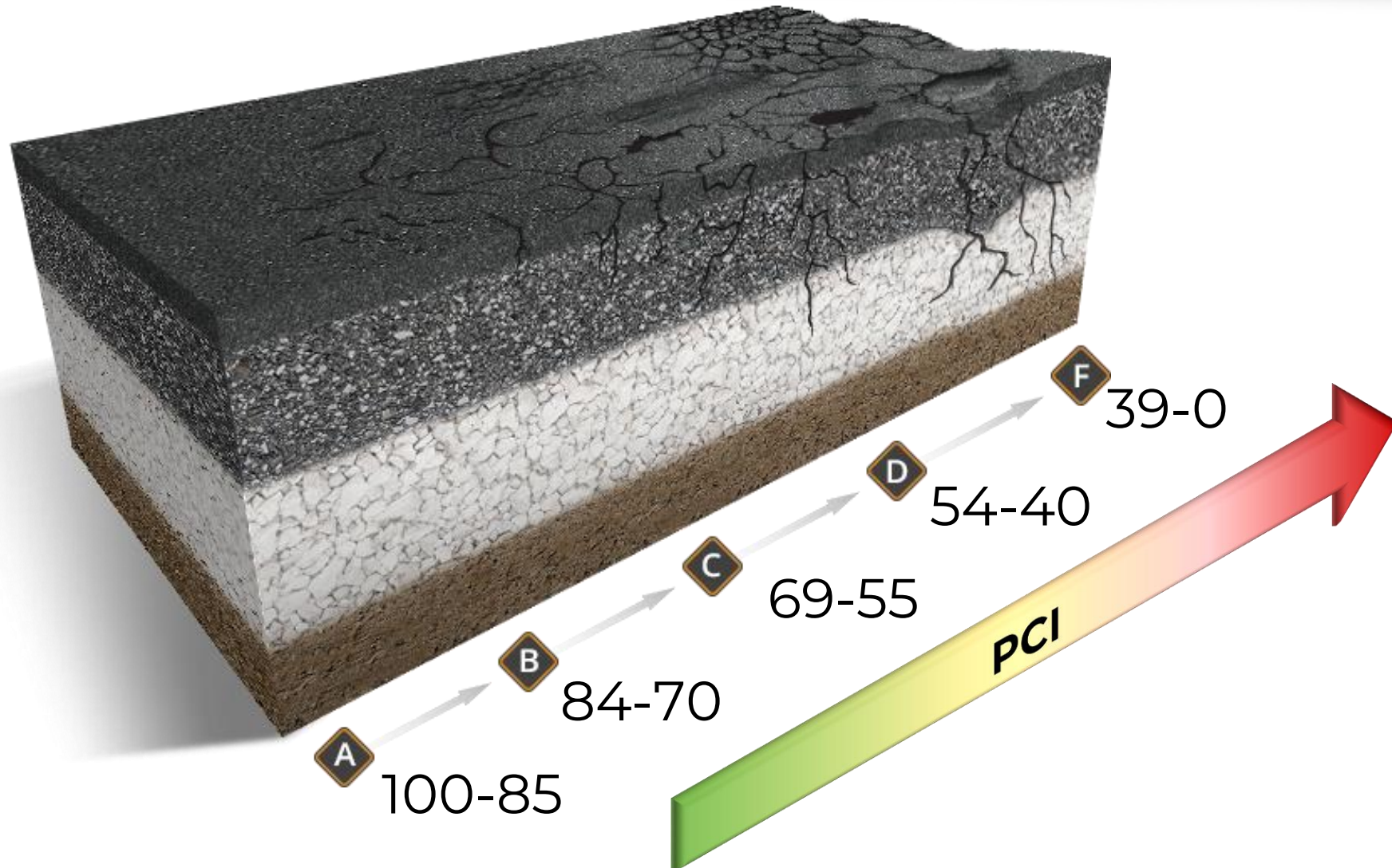
Full
Depth
Reclamation



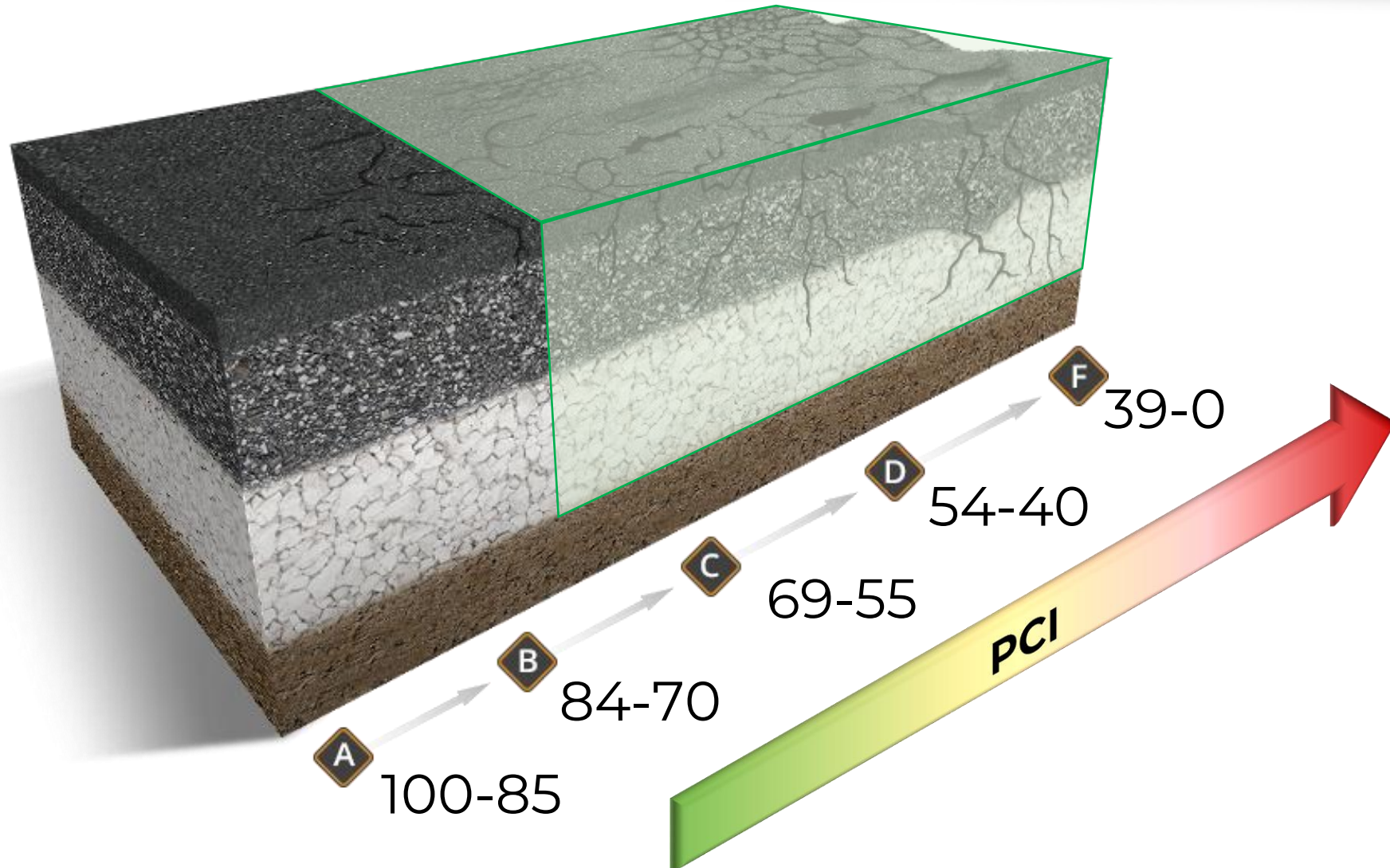
Recuperación
profunda de
pavimentos



Bases recuperadas



Bases recuperadas



Bases recuperadas

Equipo mínimo requerido

**Recuperadora o
estabilizadora**

Motoconformadora

Pipa de agua

Compactadores

Bases recuperadas

Recuperadoras



Bases recuperadas

Plantas estabilizadoras

Las plantas estabilizadoras cuentan con:

- Tolvas con bandas para alimentar el material.
- Silo o tolva para el agente estabilizador.
- Mezclador tipo pug mill



Bases estabilizadas

Pulverización



Mecánica



Química



Bituminosa



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.

@AMAACmx

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



Bases estabilizadas

Estabilización química:

- Cal.
- Cemento.
- Ceniza volante.
- Polvo de calcinación de la cal.
- Polvo de calcinación del cemento.
- Otros

Estabilización bituminosa:

- Emulsión asfáltica.
- Asfalto Espumado.
- Asfalto en caliente.

Bases estabilizadas

% que pasa la malla 200	Más del 25%			Menos del 25%		
Índice de plasticidad	$PI \leq 10$	$10 < PI < 20$	$20 \leq PI$	$PI \leq 6$; $PI @ \%P$ $75\mu m \leq 60$	$PI \leq 10$	$PI > 10$
Cemento						
Cal						



Usualmente adecuado



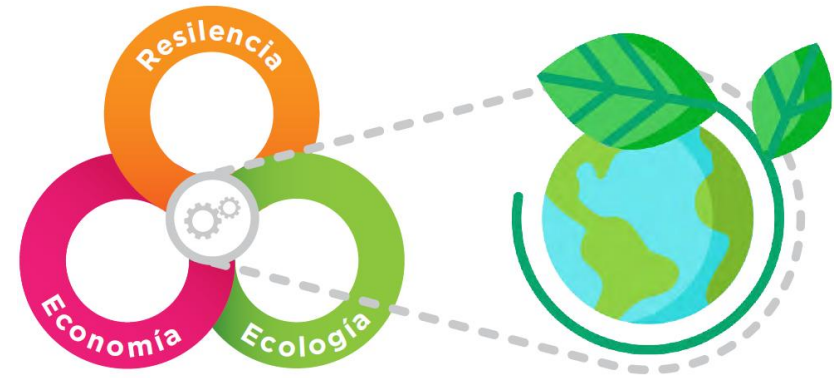
No en todos los casos es adecuado.



Usualmente no adecuado

Ventajas

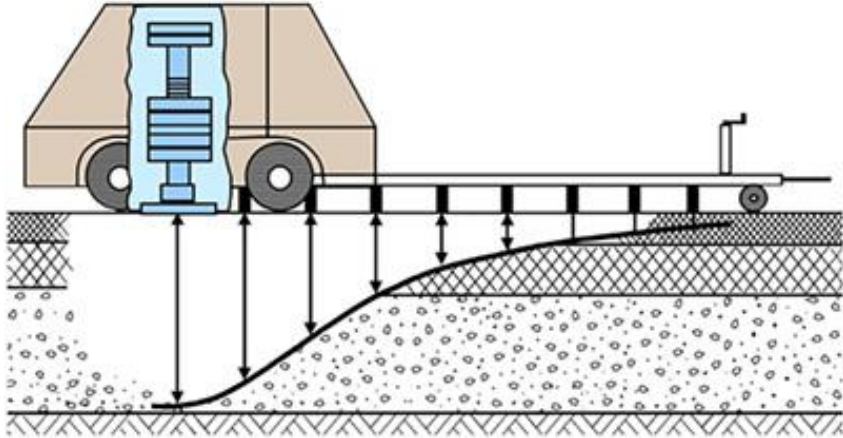
- Uso de altas tasas de material reciclado.
- Disminución de costos.
- Reducción de emisiones de GEI.
- Menor uso de recursos no renovables.
- Refuerzo estructural.
- Versatilidad de tratamientos.



Criterios a considerar

- Espesor estructura a tratar (no dejar capas delgadas sin tratar).
- Desvío de tránsito y disponibilidad de espacio para ejecutar.
- Proyecto geométrico.
- Propiedades de material recuperado, definir tramos homogéneos.
- Disponibilidad de materiales de banco.
- Capacidad estructural necesaria y presupuesto disponible.
- Disponibilidad de agentes estabilizadores y equipos.
- Experiencia previa.
- Drenaje y tránsito.

Criterios a considerar



Se debe buscar contar con la mayor cantidad de información posible:

- Inspección visual
- Sondeos de pozo a cielo abierto
- Calidad de materiales en laboratorio
- Mediciones con FWD, cono de penetración dinámica
- Levantamiento de deterioros
- Etcétera

Caso de estudio



**Base recuperada
estabilizada con
emulsión asfáltica**

Tránsito del proyecto

	Vehículo	Cantidad
	A2	79.0
	B2	2.1
	B3	0.0
	C2	9.4
	C3	1.8
	T3-S2	4.4
	T3-S3	1.2
	T3-S2-R4	0.7
	Otros	1.8

Este tramo concesionado se rehabilitó en el 2020.

Factor por sentido	0.5
Factor por carril	1
TDPA (2020)	53,36
TDPA diseño	2,668
Tasa de crecimiento	3.5 %
ESAL's 10 años	8,7 millones

Condición del pavimento

Desprendimiento severo, roderas y baches puntuales.

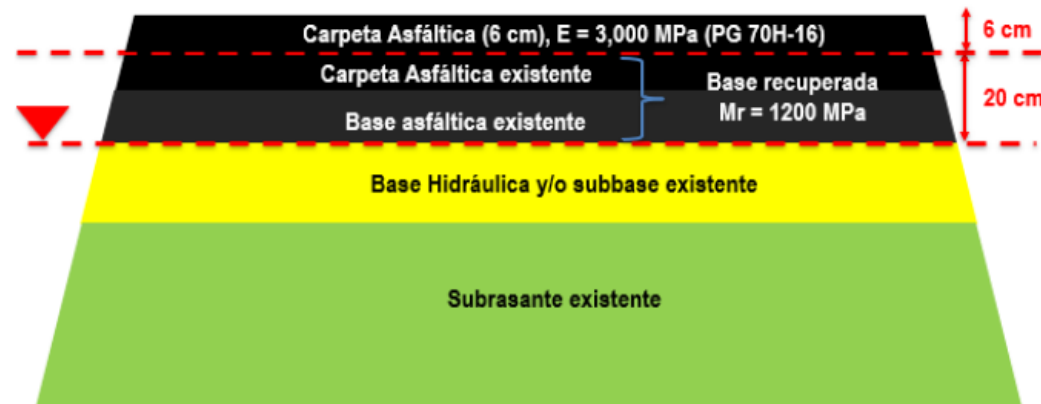


Condición del pavimento

Agrietamiento por fatiga, zonas ya tratadas con roderas.



Tratamiento propuesto



Procedimiento constructivo



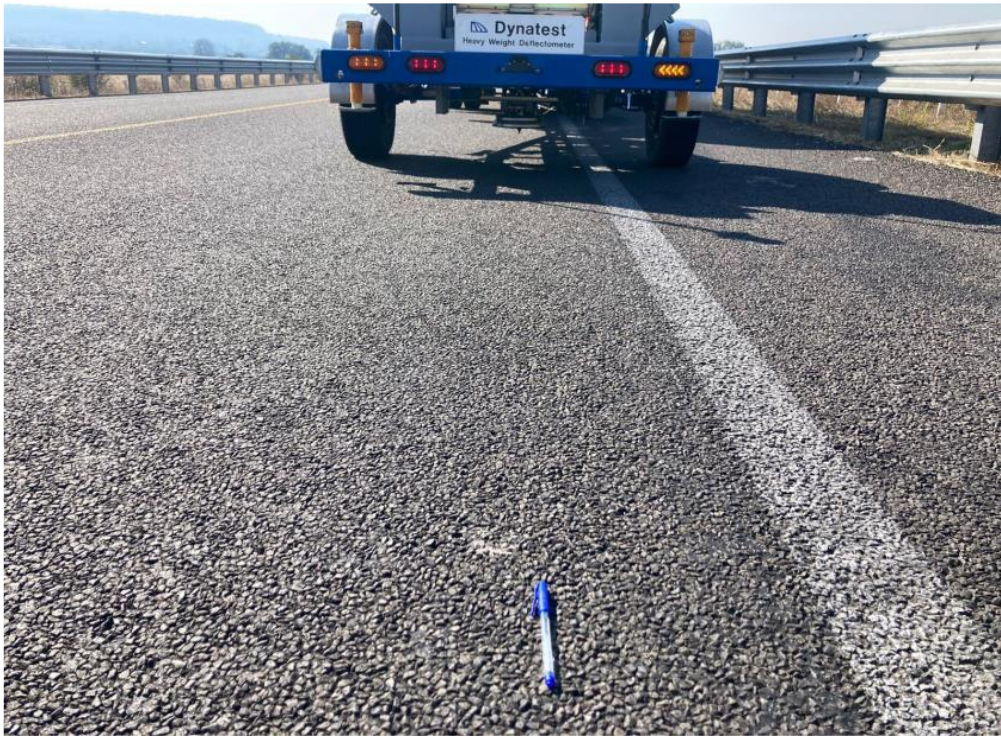
Condición del pavimento

2021 posterior a la rehabilitación estructural.

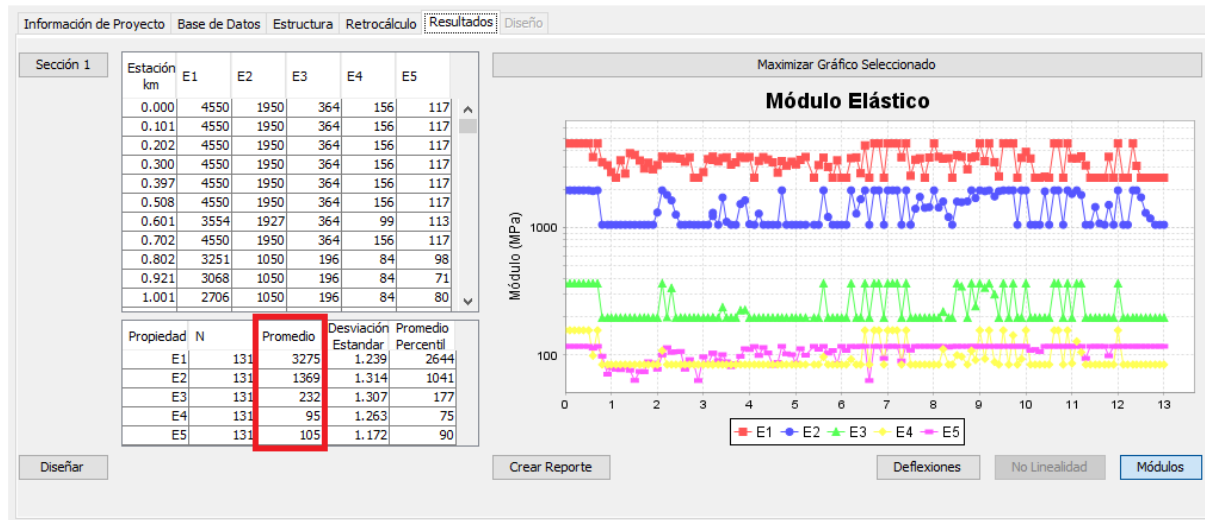


Medición estructural

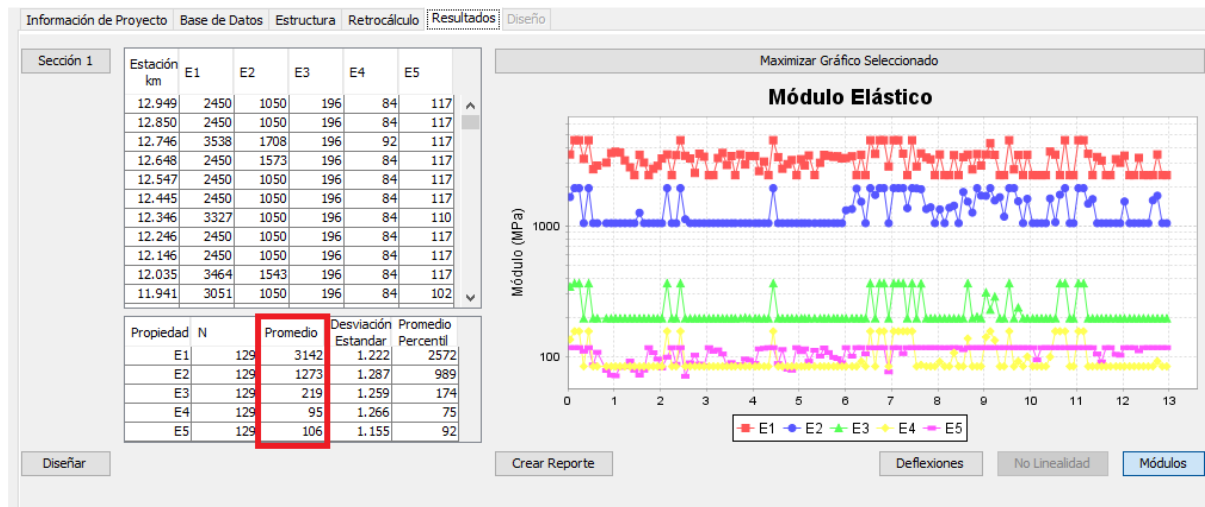
Medición de deflexiones 2022.



Medición estructural



Capa	Módulo [MPa]
Carpeta Asfáltica	3,275
Base EEA	1,369
Base Hidráulica	232
Subrasante	95



Capa	Módulo [MPa]
Carpeta Asfáltica	3,142
Base EEA	1,273
Base Hidráulica	219
Subrasante	95

Medición estructural

	No. de Capa	Nombre Capa	Espesor (cm)	Módulo (MPa)	Coefficiente de Variación, %
▶	1	Carpeta Asfáltica	6	3275	15
	2	Base estabilizada	20	1369	15
	3	Base Granular	15	232	15
	4	Sub rasante	30	95	15
	5	Capa semi-infinita		105	15

Análisis Probabilista

Reporte

CONFIABILIDAD

90% ▾

RESULTADOS

Vida por fatiga (años) > 10

Vida por deformación (años) > 10

Capa	Módulo [MPa]
Carpeta Asfáltica	3,275
Base EEA	1,369
Base Hidráulica	232
Subrasante	95

	No. de Capa	Nombre Capa	Espesor (cm)	Módulo (MPa)	Coefficiente de Variación, %
▶	1	Carpeta Asfáltica	6	3142	15
	2	Base estabilizada	20	1273	15
	3	Base Granular	15	219	15
	4	Sub rasante	30	95	15
	5	Capa semi-infinita		106	15

Análisis Probabilista

Reporte

CONFIABILIDAD

90% ▾

RESULTADOS

Vida por fatiga (años) > 10

Vida por deformación (años) > 10

Capa	Módulo [MPa]
Carpeta Asfáltica	3,142
Base EEA	1,273
Base Hidráulica	219
Subrasante	95



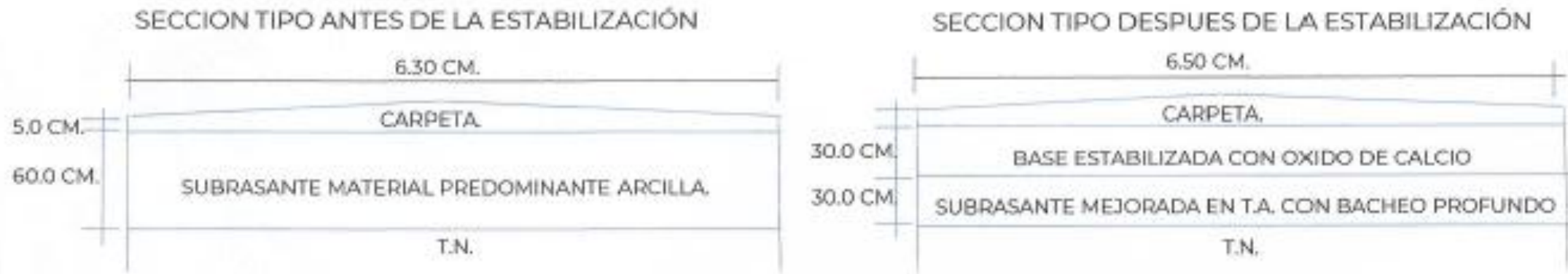
Caso de estudio



**Base recuperada
estabilizada con
óxido de calcio (cal
viva)**

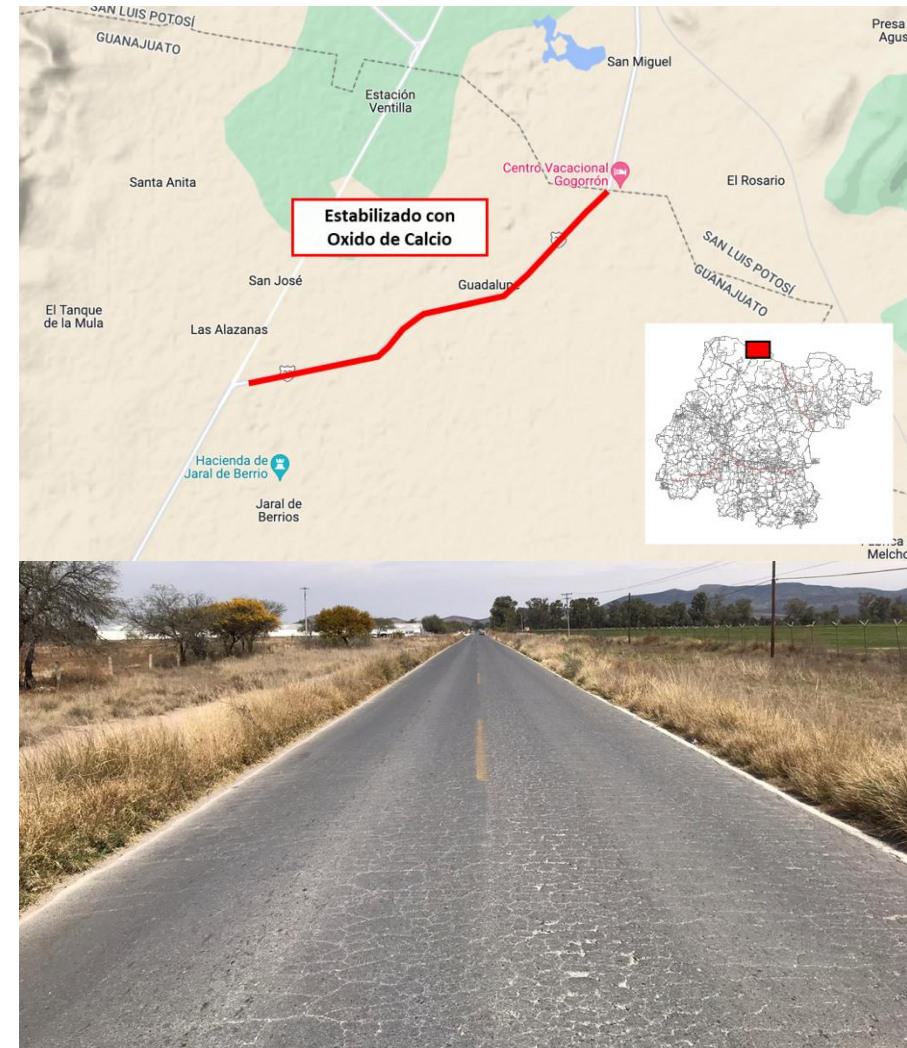
Proyecto

Conservación periódica mediante trabajos de recuperación y reconstrucción de carpeta de dos riegos del km 125+000 al 134+500 del tramo San Felipe-Lim. Edos. Gto/SLP (Villa de Reyes) de la carretera federal León-San Luis Potosí con una longitud de 9.5 km en el estado de Guanajuato. Licitación LO-009000955-E113-2019.



Tránsito del proyecto

	Vehículo	Cantidad
	A2	55.20%
	B2	4.50%
	B3	0.00%
	C2	12.20%
	C3	2.70%
	T3-S2	20.80%
	T3-S3	2.30%
	T3-S2-R4	1.70%
TDPA		4,103
Tasa de crecimiento		3.19
ESAL's 15 años		11,000,000

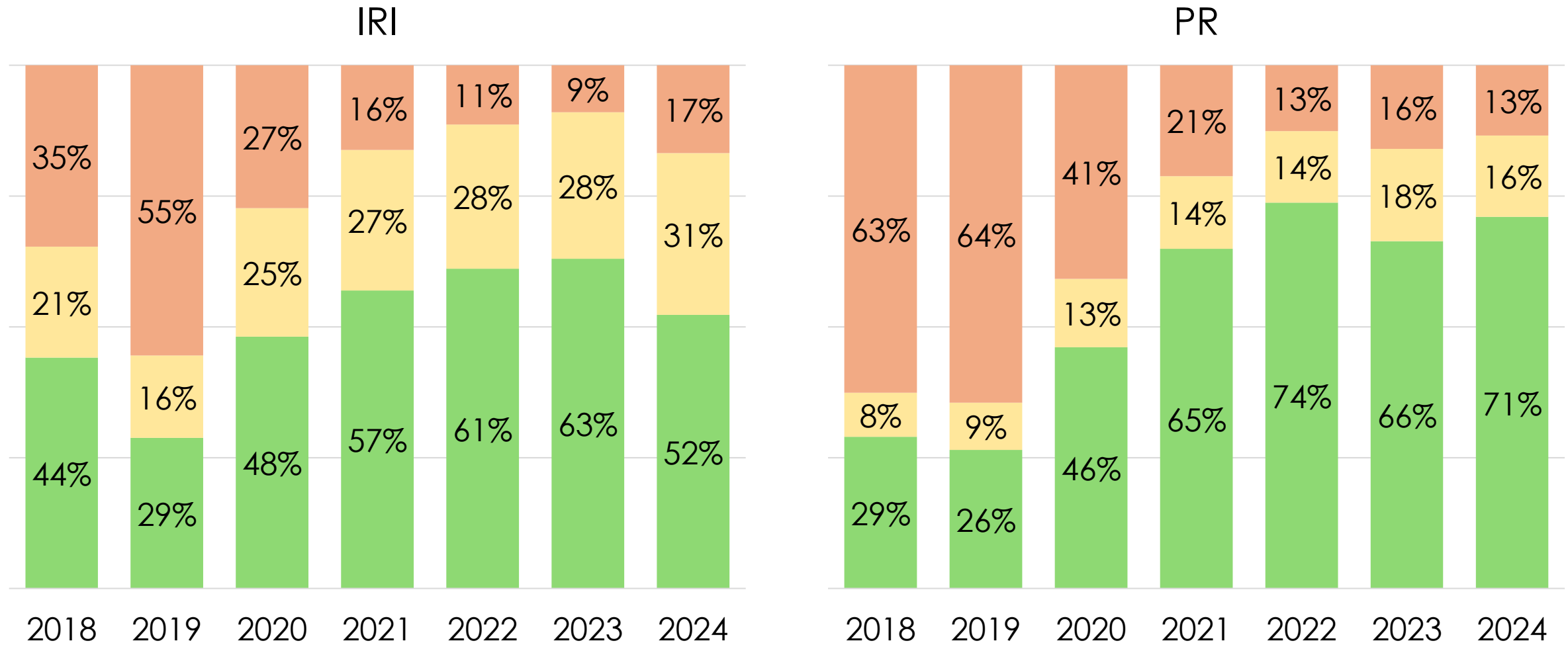


Evaluación del pavimento

Se analizaron los datos del tramo **gracias** al programa de auscultación de pavimentos de la **Dirección General de Servicios Técnicos**.

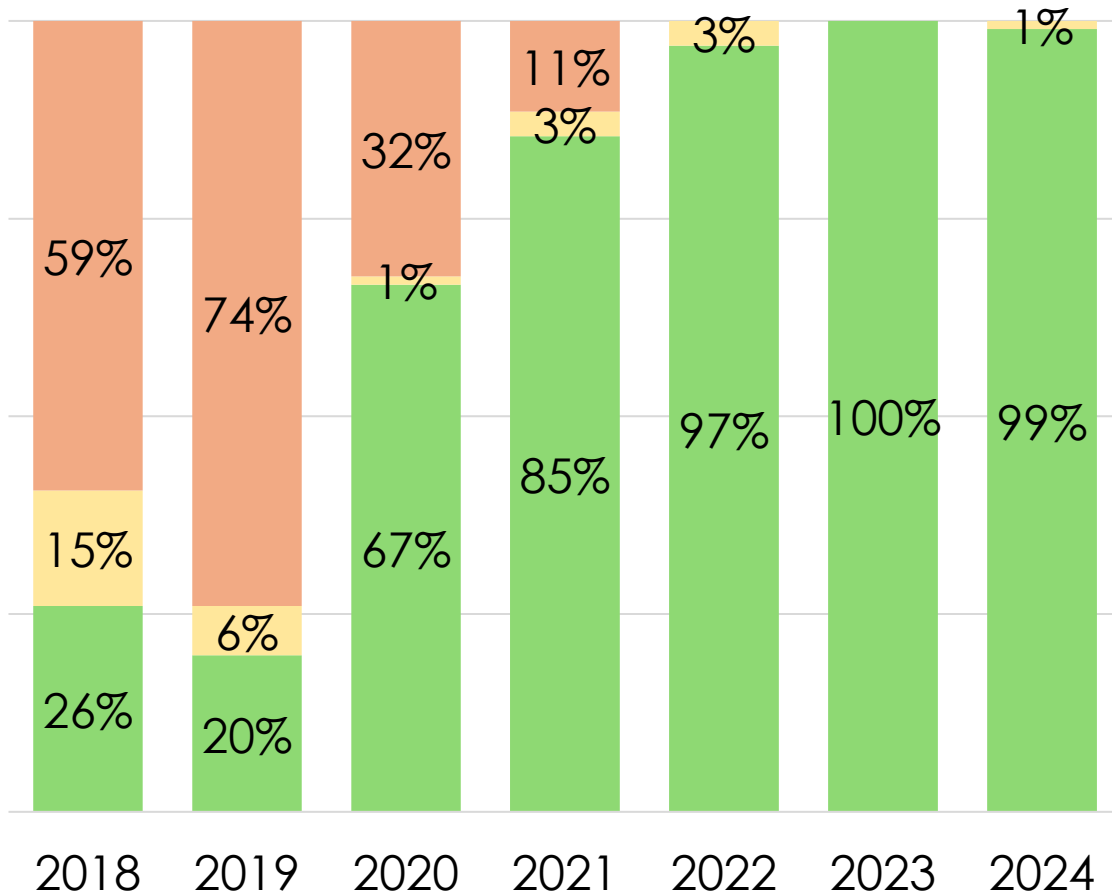
- N-CSV-CAR-1-03-004/21 “Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI).
- N-CSV-CAR-1-03-009/16 Determinación de la profundidad de roderas (PR).
- N-CSV-CAR-1-03-008/18 Determinación de los deterioros superficiales de los pavimentos (DET).
- N-CSV-CAR-1-03-006/20 Determinación de la macrotextura (MAC).
- N-CSV-CAR-1-03-010/17 Determinación de las deflexiones de un pavimento (DEF).

Evaluación superficial

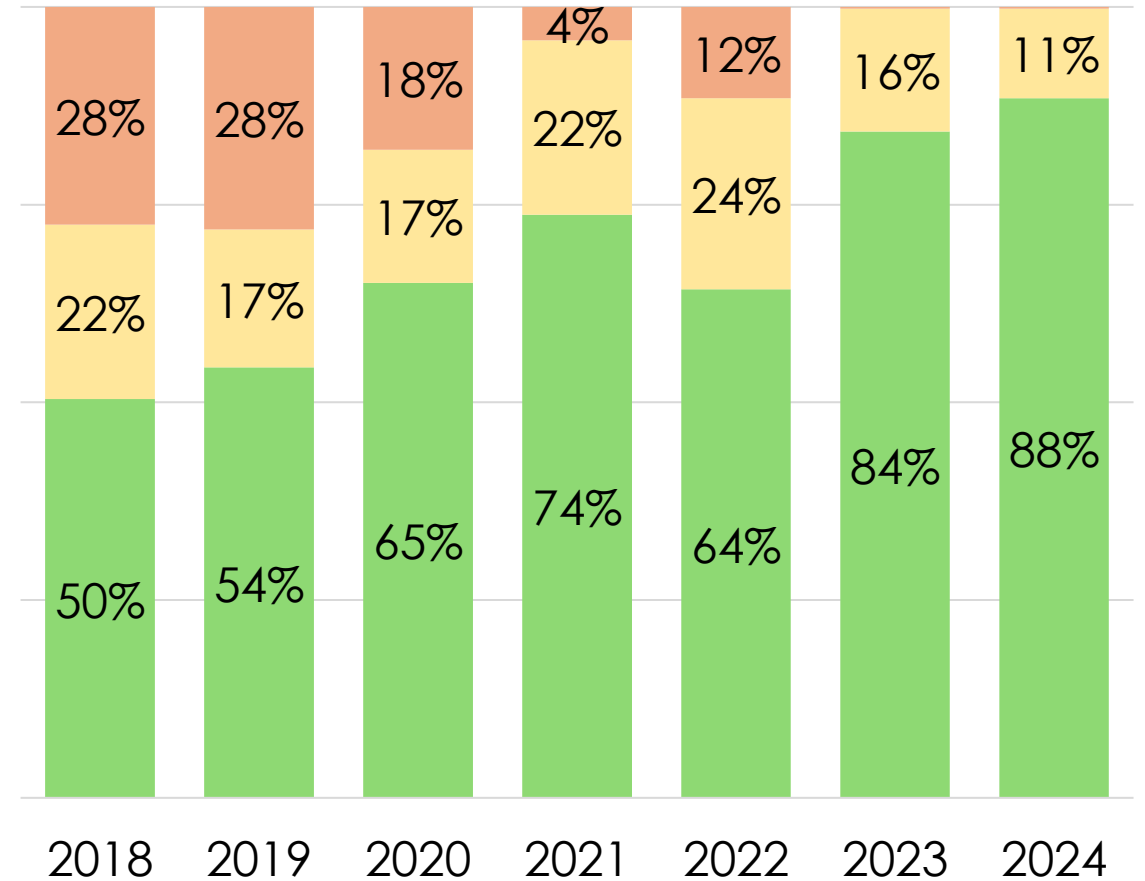


Evaluación superficial

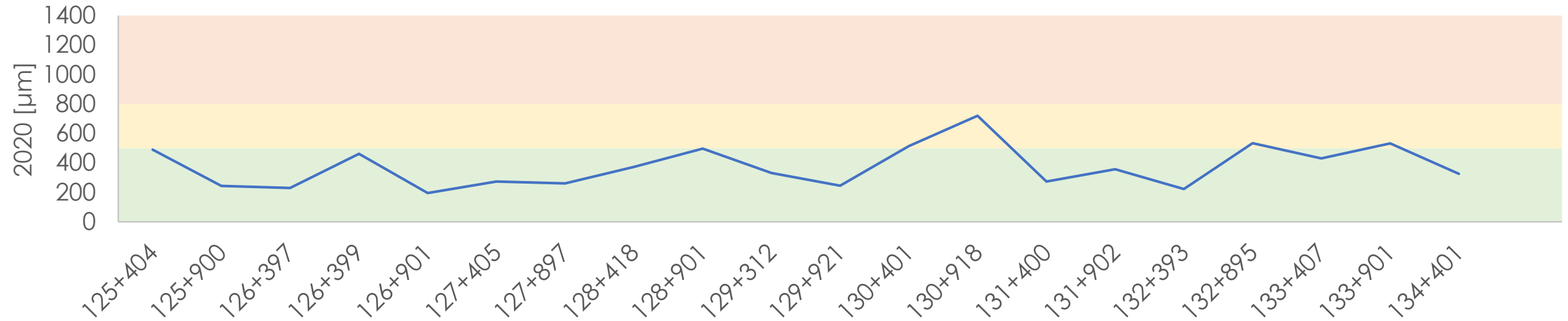
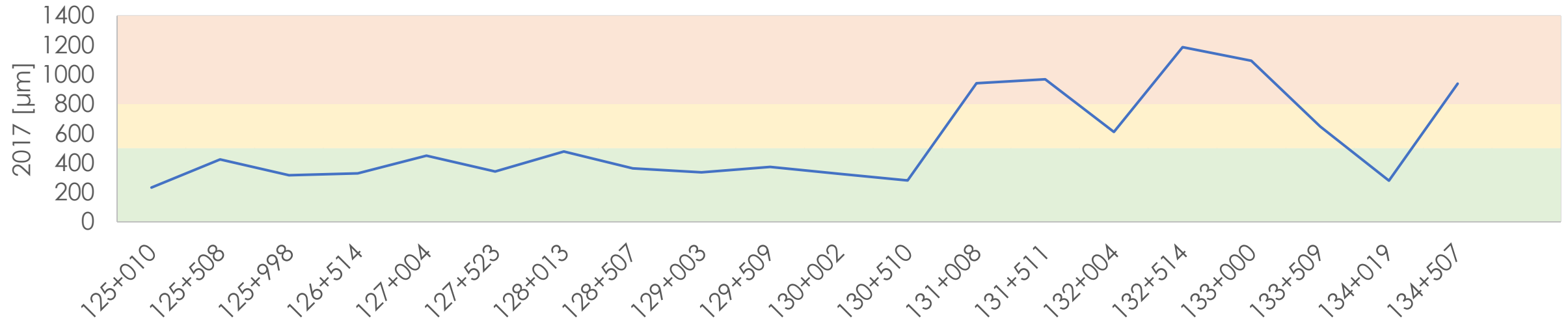
%DET



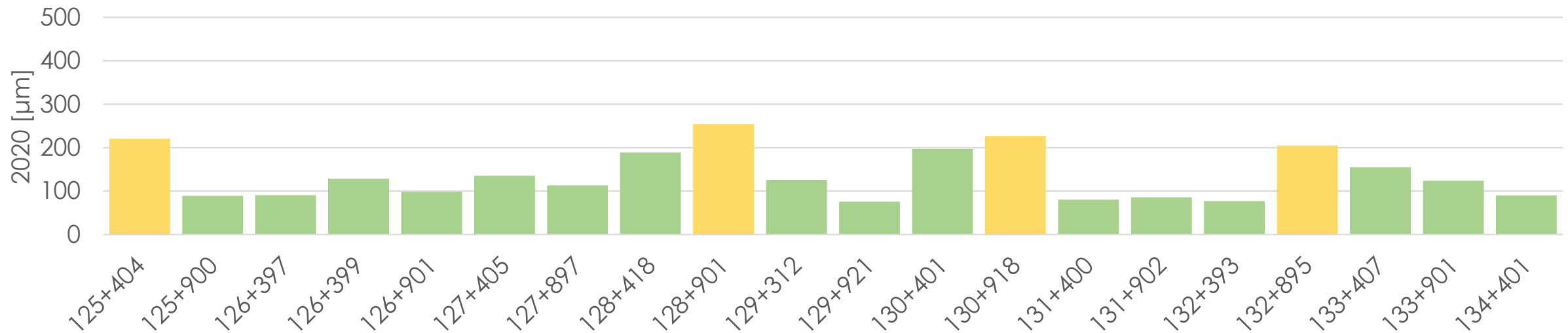
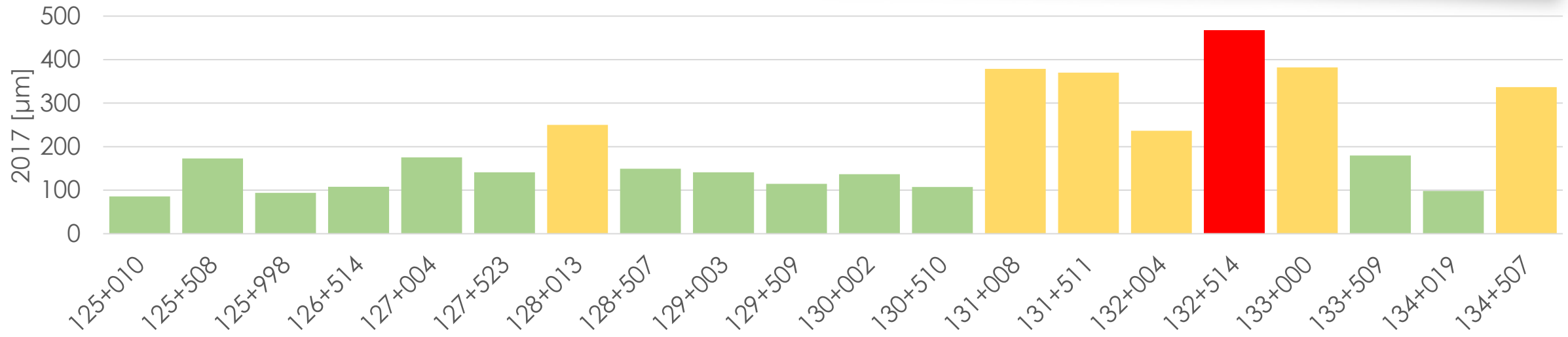
MAC



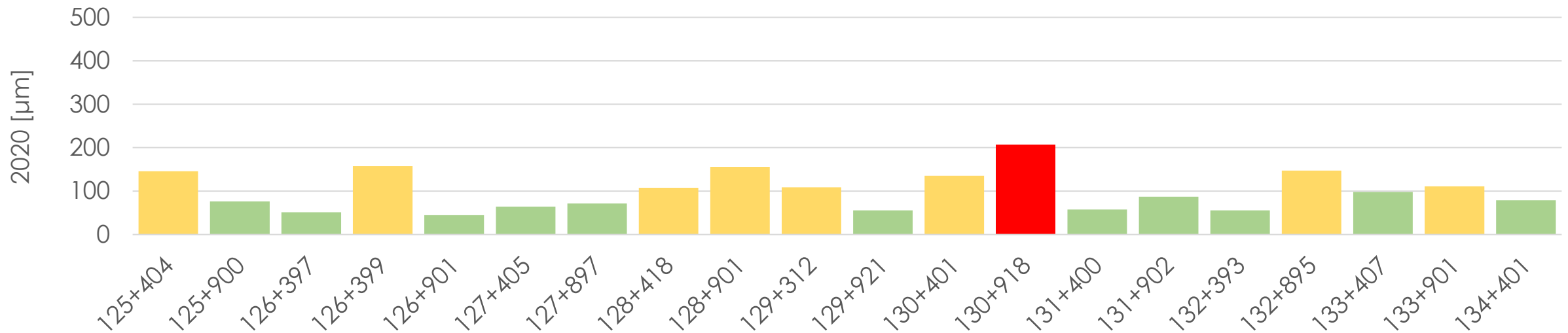
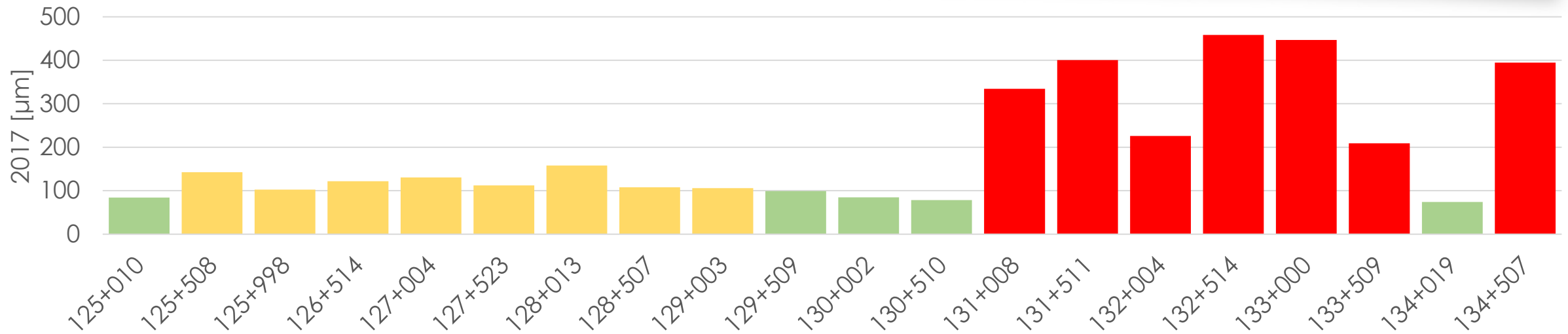
Deflexiones máximas



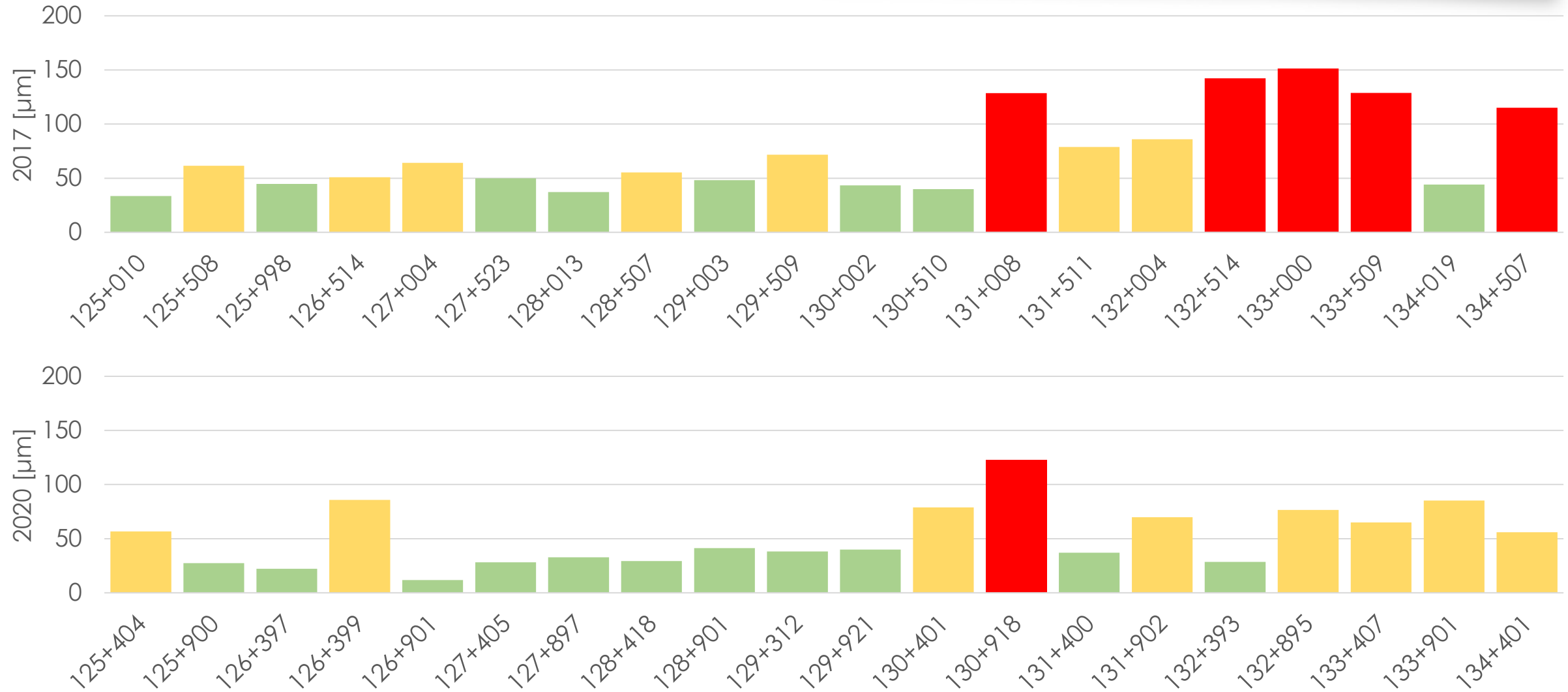
Índices de capa de base (BLI)



Índices de capa de media (MLI)



Índices de capa de inferior (LLI)



Condición actual del pavimento

Desprendimiento de material por el paso de camiones pesados en zonas puntuales.



Condición actual del pavimento



- La rehabilitación estructural tuvo un costo de **\$1,393,284 MXN/km**, incluye reposición de señalamiento horizontal e IVA.
- Tiempo de vida esperado >15 años.
- Módulo de la base estabilizada con óxido de calcio ~**1,100MPa**.

Caso de estudio



**Base recuperada
estabilizada con
asfalto espumado**

Proyecto

Autopista Maravatío Zapotlanejo

Noviembre 2019 - Conservación de la autopista Maravatío-Zapotlanejo del km 165+000 al 168+000 cuerpo B sobre el carril de baja velocidad.

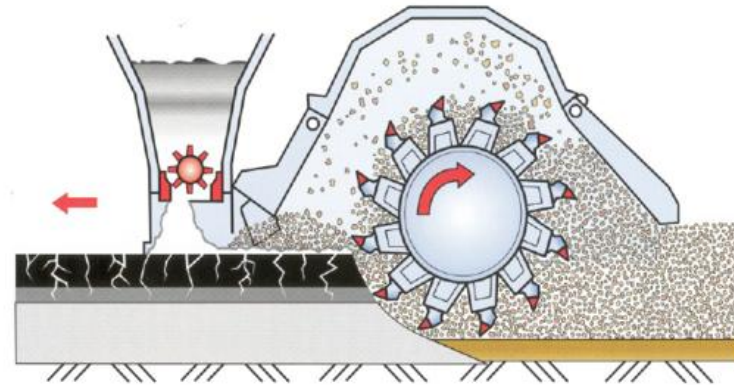


18cm CA

20cm BH

27cm SR

Semi-inf TN



5cm CA

18cm BEAE

20cm SBEC

27cm SR

Semi-inf TN

Procedimiento constructivo

- Se colocó arena sobre el tramo (75%RAP+25%Arena).
- Se homogenizó con el material existente con la WR240
- Se acamellonó el material en la orilla del tramo.



Procedimiento constructivo

- Se colocó hidróxido de calcio (cal hidratada) al 3%.
- Se estabilizó y compactó una capa de 20cm.

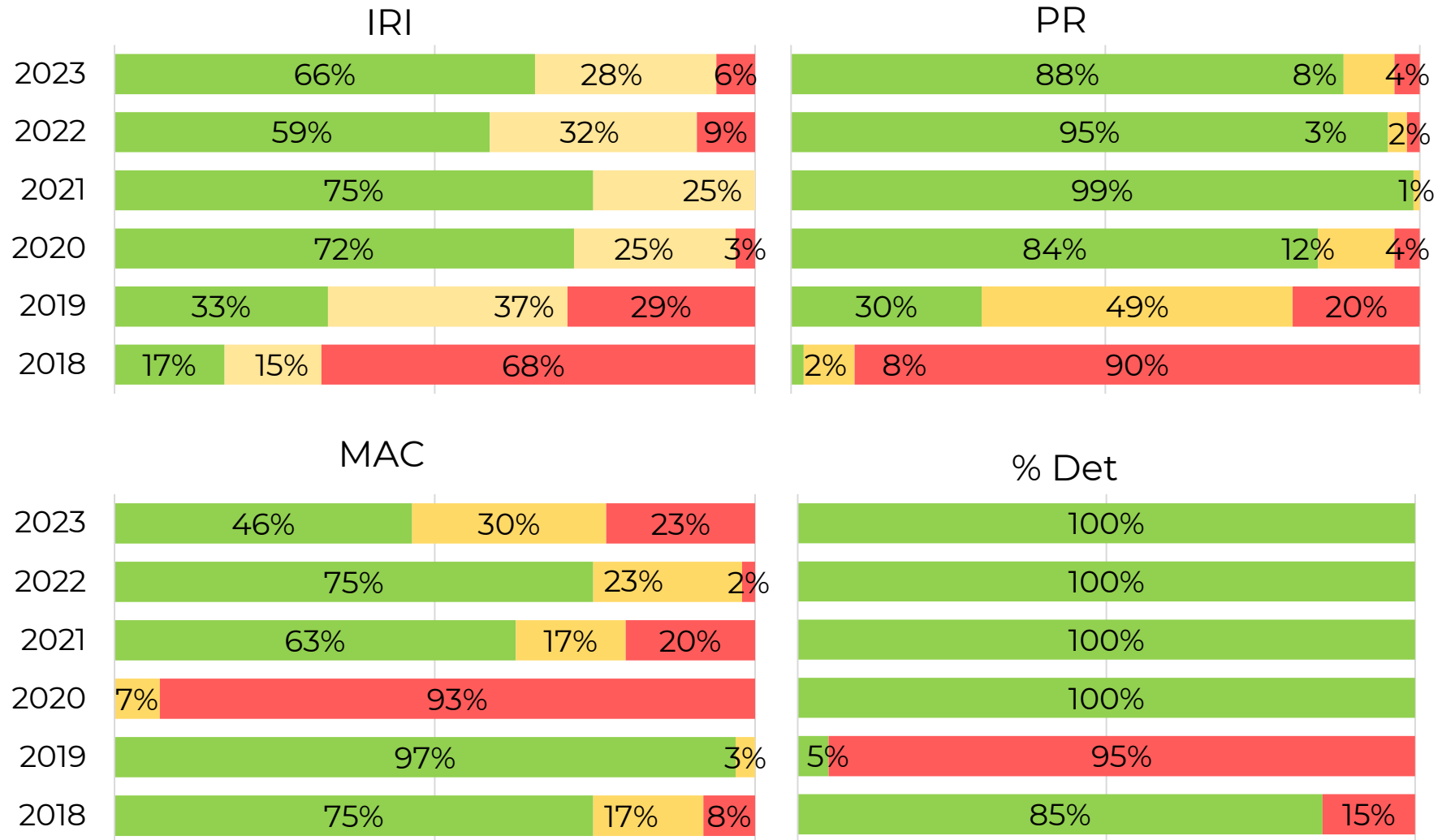


Procedimiento constructivo

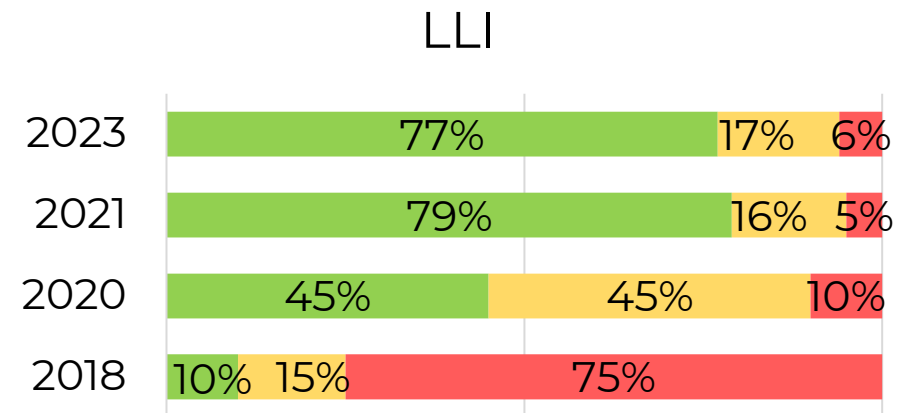
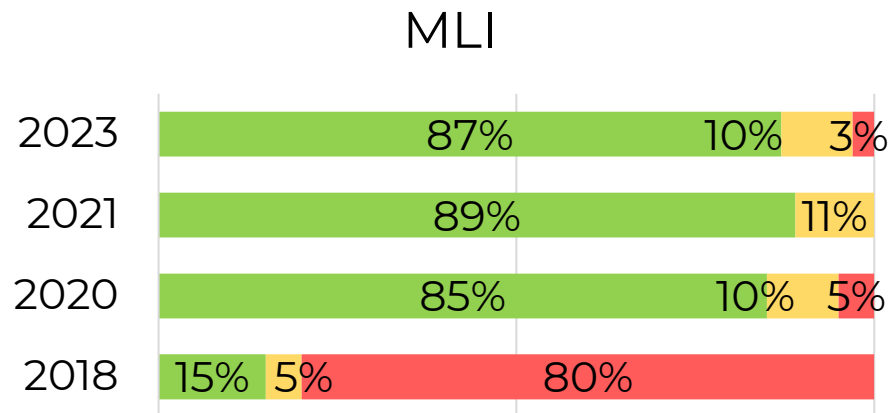
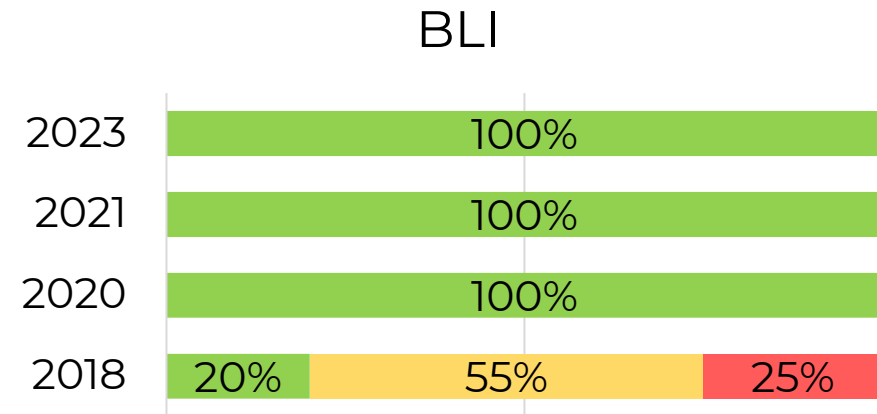
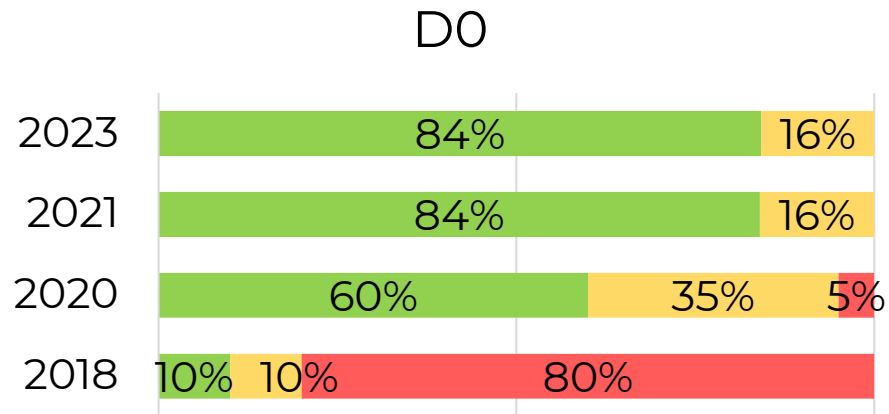
- El material acamellonado se colocó sobre la sub base.
- Se estabilizó con 2.4% de espuma asfáltica y 1% de cal.



Evaluación superficial

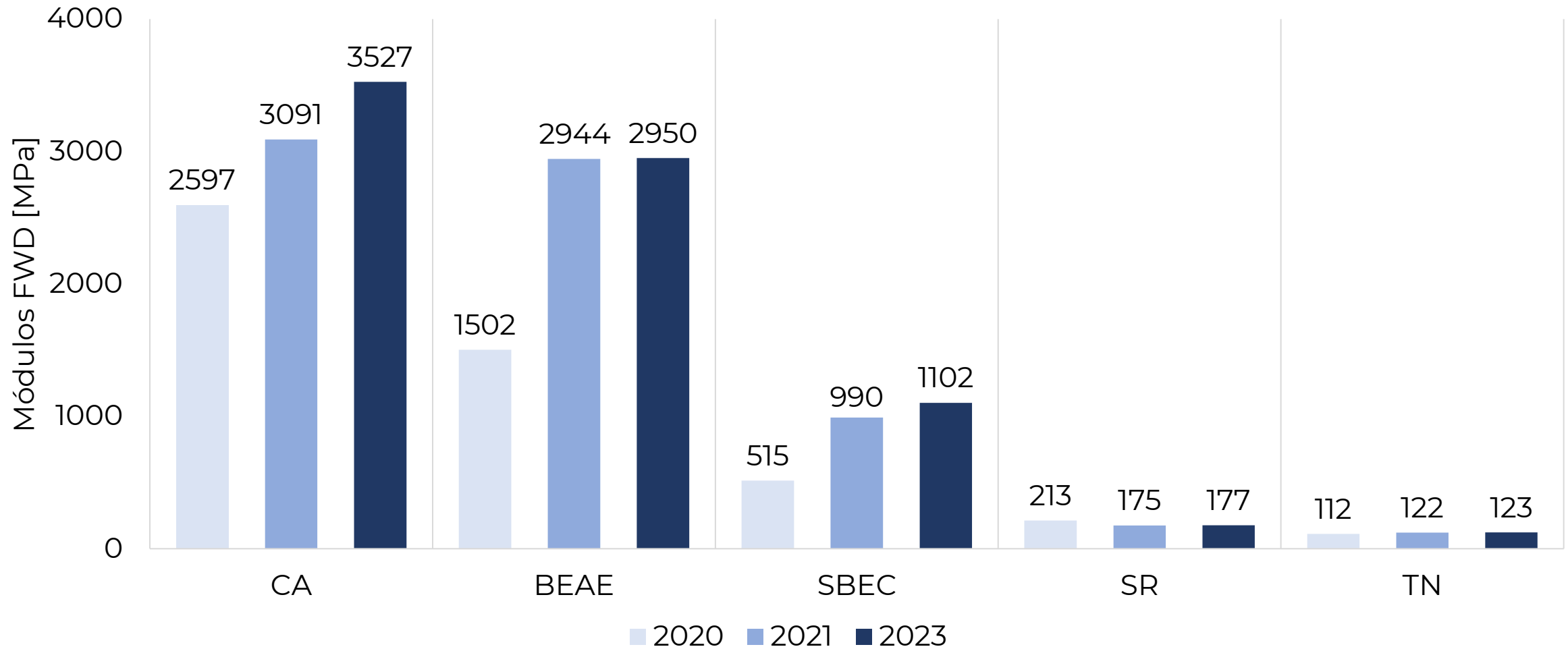


Evaluación estructural



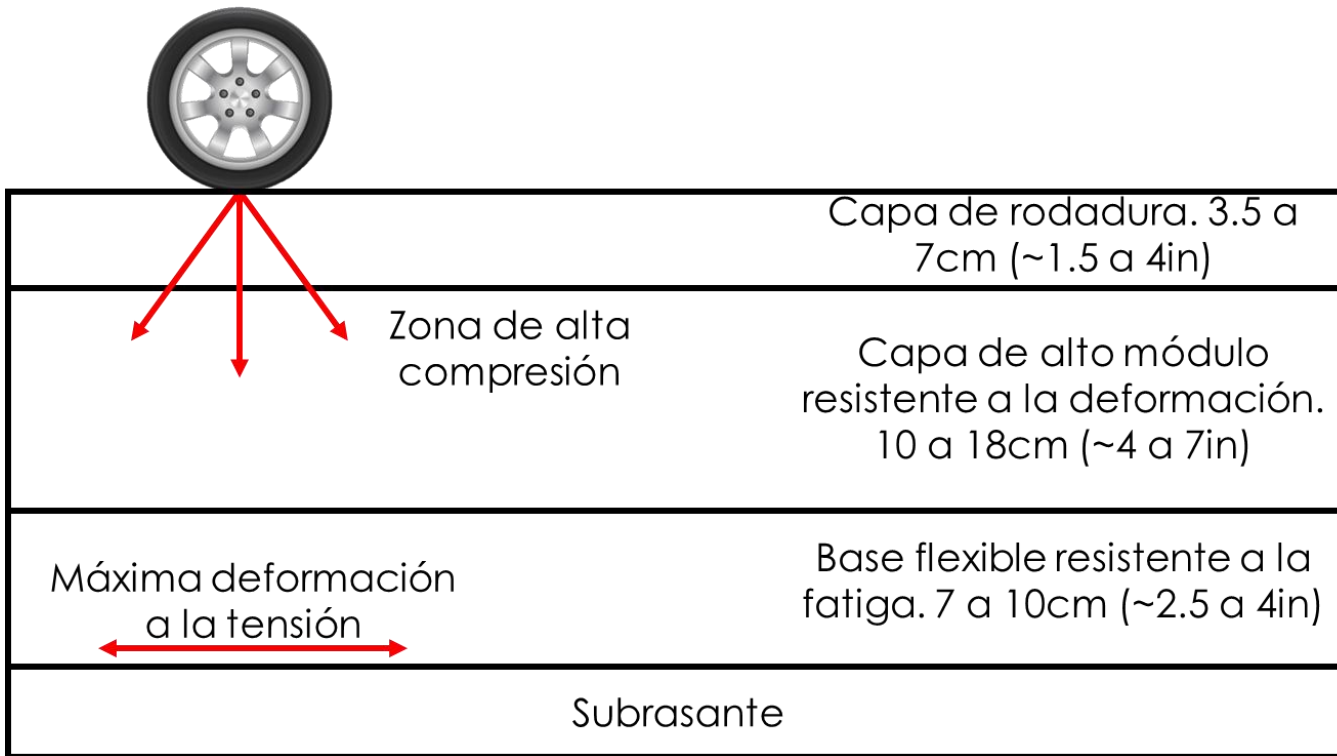
Evaluación estructural

Módulos



Evaluación estructural

Pavimentos de larga duración



Ventajas:

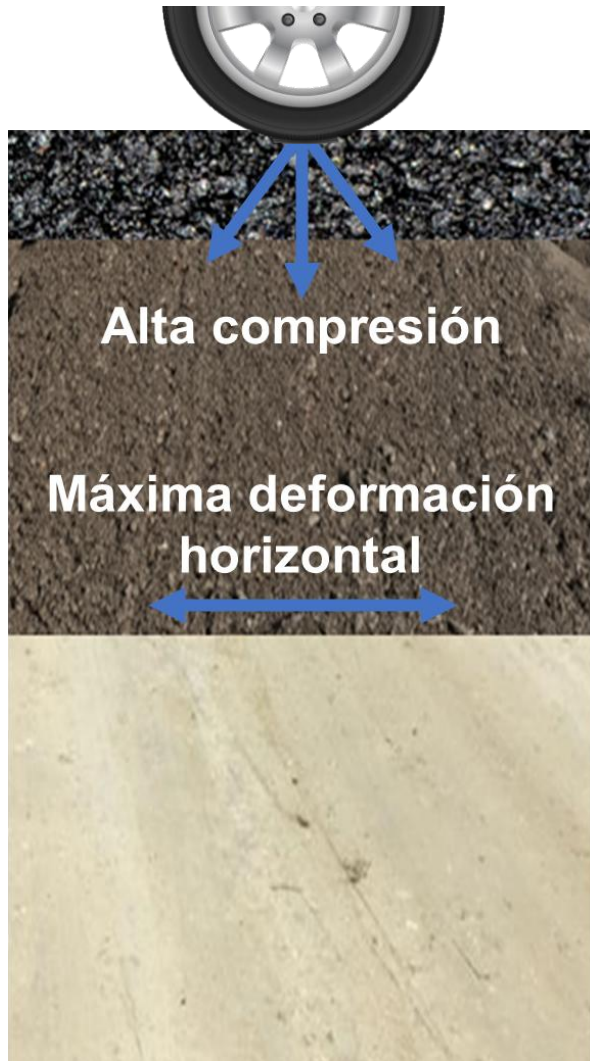
- Elimina costos de reconstrucción.
- Menos afectación a los usuarios.
- Menor consumo de recursos.
- Menor costo de ciclo de vida.

Desventaja:

- Grandes espesores de capas asfálticas generan un alto costo de construcción inicial.

Evaluación estructural

Pavimentos de larga duración



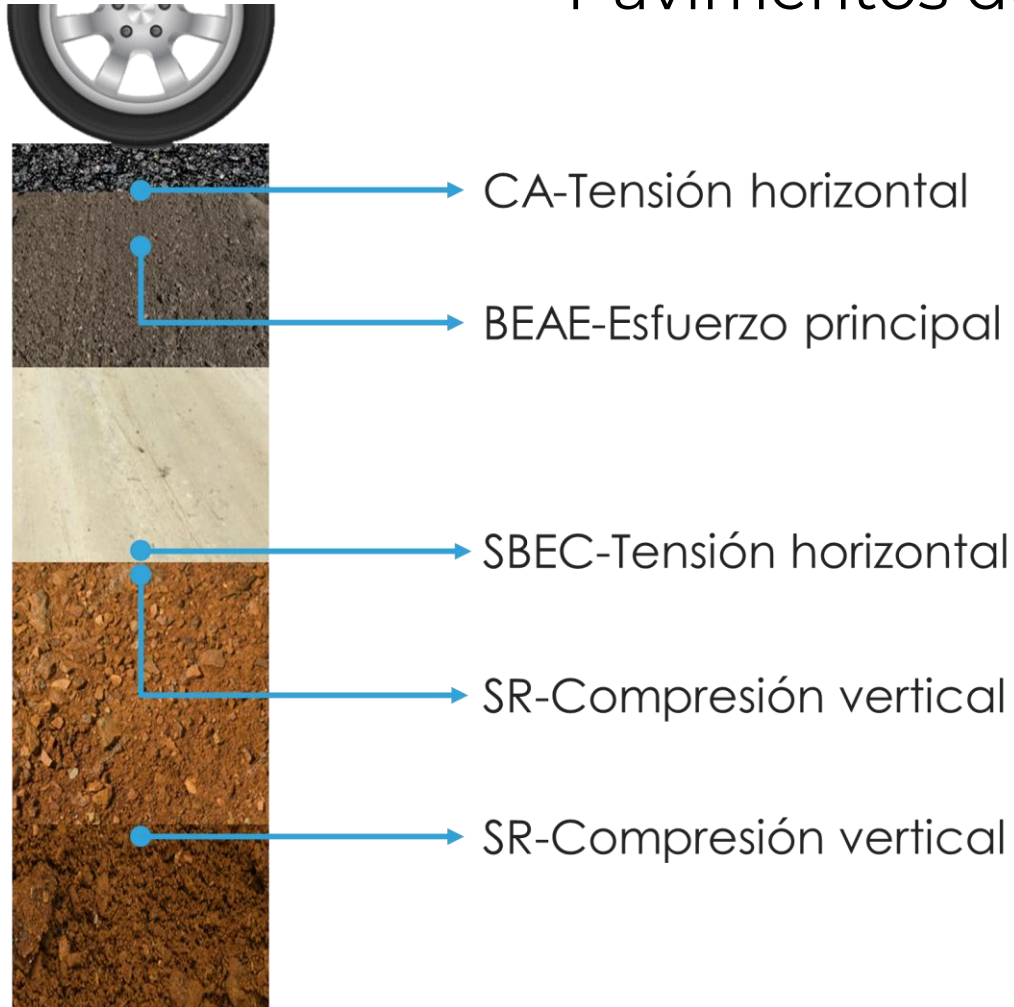
Carpeta Asfáltica (CA): Asfalto modificado con polímero, resistente a la deformación.

Base estabilizada con asfalto espumado (BEAE): Falla por deformación, bajo contenido de asfalto (2-3%) y alto de material recuperado (70-80%).

Sub base estabilizada con cal (SBEC): Resistente a los ciclos y variabilidad estacional 100% material recuperado.

Evaluación estructural

Pavimentos de larga duración



Simulación de Monte Carlo.
5,000 iteraciones. Considerando
variabilidad por:

- Clima
- Procedimiento constructivo
- Carga vehicular



Evaluación estructural

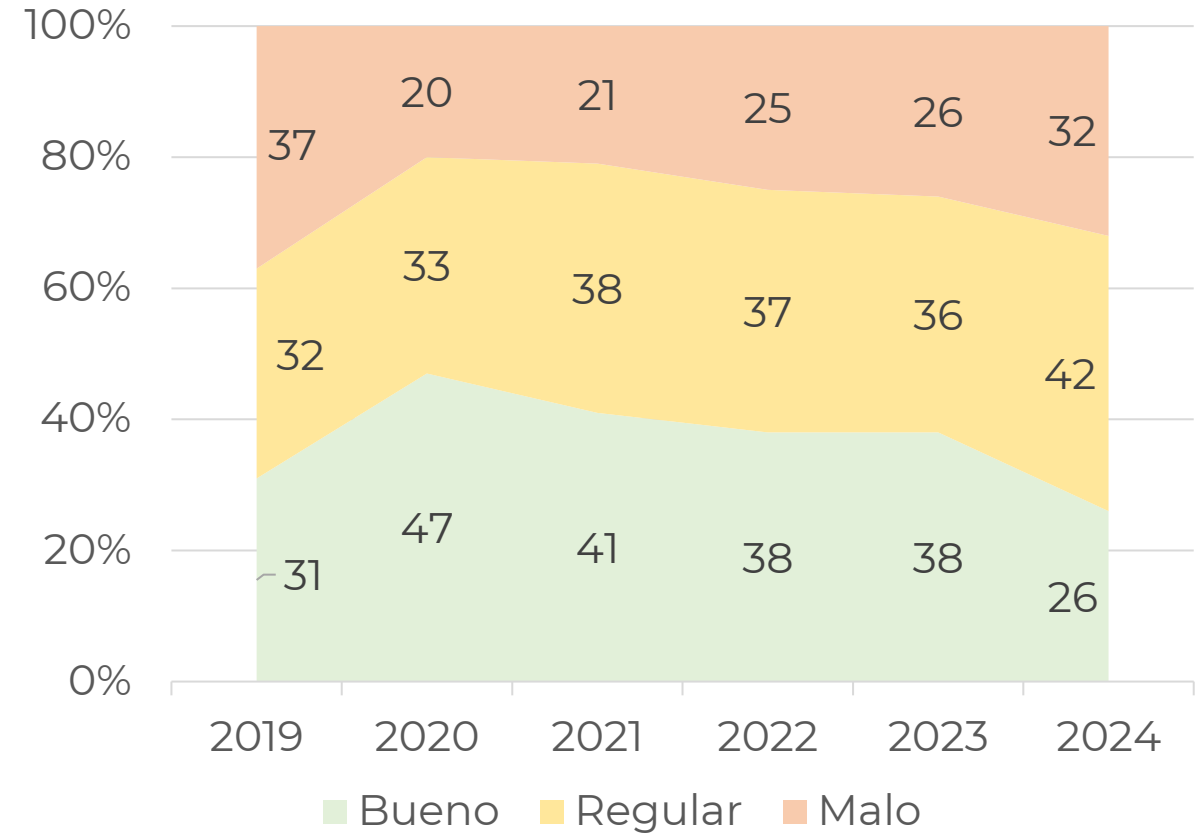
Capa	Espesor [cm]	Criterio	Valor Objetivo	Percentil objetivo	Percentil calculado	Cumple	Ubicación
CA	5	Fatiga: Deformación horizontal	257 $\mu\epsilon$	95	95.0	✓	Inferior
			194 $\mu\epsilon$	85	94.1	✓	
			158 $\mu\epsilon$	75	92.7	✓	
			131 $\mu\epsilon$	65	91.5	✓	
			110 $\mu\epsilon$	55	89.6	✓	
BEAE	18	Deformación: Esfuerzo principal	392kPa (57psi)	95	99.7	✓	Centro
SBEC	20	Fatiga: Esfuerzo horizontal	182kPa (26.36psi)	95	96.9	✓	Inferior
SR	22	Deformación vertical	200 $\mu\epsilon$	50	86.8	✓	Superior
TN	Seminf	Deformación vertical	200 $\mu\epsilon$	50	100.0	✓	Superior



Conclusiones

- Rehabilitar **un km** de pavimento **de estado malo a bueno** cuesta de **4 a 8 millones de pesos***.
- Cerca del **80% de la red** de carreteras de México tiene un **tránsito menor a 6,000 vehículos diarios** y son candidatas ideales para este tipo de tratamientos.

Estado físico de la red carretera libre de peaje



Conclusiones

La recuperación profunda de pavimentos (FDR) es una alternativa con las 3B's:

- **Buena:** Porque es resiliente. Es posible alcanzar tiempos de vida útil mayores a 10 o 15 años o incluso PLD.
- **Bonita:** Porque es sostenible. Permite el uso de altas tasas de material reciclado y disminuye las emisiones de GEI.
- **Barata:** Reduce costos de construcción, operación y conservación.

¡muchas gracias!

Ponente: Sergio Serment Moreno

Contacto: sserment@calidra.com.mx
+52 818 366 4379

@sserment  

CALIDRA
SIEMPRE AHÍ