

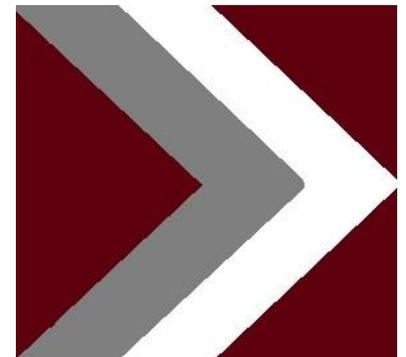


**XXIVth World
Road Congress
Mexico 2011**
Mexico City 2011.

Metodología para la determinación de estrategias para la conservación de pavimentos

Francisco Javier Moreno Fierros

- Alta Tecnología en Ingeniería de Pavimentos y Seguridad Vial
- Director General
- tecnologia.alta@gmail.com



Alta Tecnología

CONTRATOS DE LARGO PLAZO BAJO INDICADORES DE DESEMPEÑO

En México, se han venido otorgando contratos de largo plazo para proyectos de conservación de pavimentos de carreteras y vialidades.

- Concesiones de carreteras o vialidades de cuota
- Aprovechamiento de activos carreteros
- Proyectos de Prestación de Servicios (PPS) (Asociaciones Público Privadas)
- Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras



CONTRATOS DE LARGO PLAZO BAJO INDICADORES DE DESEMPEÑO

Duración de los contratos (Ciclo de Vida del proyecto)

- Concesiones carreteras, de 7 a 30 años
- Proyectos de Prestación de Servicios (PPS) (Asociaciones Público Privadas,) de 10 a 30 años
- Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras, en promedio de 5 a 7 años



CONTRATOS DE LARGO PLAZO BAJO INDICADORES DE DESEMPEÑO

Definición de la red carretera o vial

- Caminos o vialidades de cuota (de jurisdicción estatal o federal)
- Carreteras o caminos libres (de jurisdicción estatal o federal)
- Vialidades urbanas
 - Red o tramo carretero



CONTRATOS DE LARGO PLAZO BAJO INDICADORES DE DESEMPEÑO

Indicadores de desempeño utilizados

- IRI Índice de Rugosidad Internacional
- Profundidad de Roderas
- Coeficiente de Fricción
- Deterioros superficiales (baches, agrietamientos)
- Deflexiones
- Macrotextura



CONTRATOS DE LARGO PLAZO BAJO INDICADORES DE DESEMPEÑO

Definición de umbrales de conservación durante el Ciclo de Vida del Proyecto

- IRI Índice de Rugosidad Internacional (Máximo)
- Profundidad de Roderas (Máximo)
- Coeficiente de Fricción (Mínimo y Máximo)
- Deterioros superficiales (baches, agrietamientos)
- Macrotextura (Mínimo)



CONTRATOS DE LARGO PLAZO BAJO INDICADORES DE DESEMPEÑO

IRI máximo permitido en el Ciclo de Vida del Proyecto



- IRI Índice de Rugosidad Internacional
Autopista de alta velocidad ≤ 2 o 2.5 m/km
Camino principal ≤ 2.5 o 3 m/km
Camino secundario ≤ 3 o 3.5 m/km
Vialidad urbana ≤ 3 o 4 m/km



CONTRATOS DE LARGO PLAZO BAJO INDICADORES DE DESEMPEÑO

PR máxima permitida en el Ciclo de Vida del proyecto

- Profundidad de Roderas
Autopista de alta velocidad ≤ 5 mm
Camino principal ≤ 10 mm
Camino secundario ≤ 15 mm
Vialidad urbana ≤ 15 mm



CONTRATOS DE LARGO PLAZO BAJO INDICADORES DE DESEMPEÑO

Deterioros superficiales máximos permitidos en el Ciclo de Vida del Proyecto

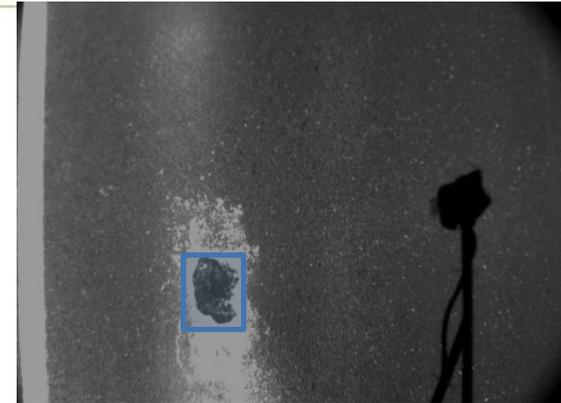
- Baches / Km

Autopista de alta velocidad ≤ 0

Camino principal ≤ 0

Camino secundario ≤ 0

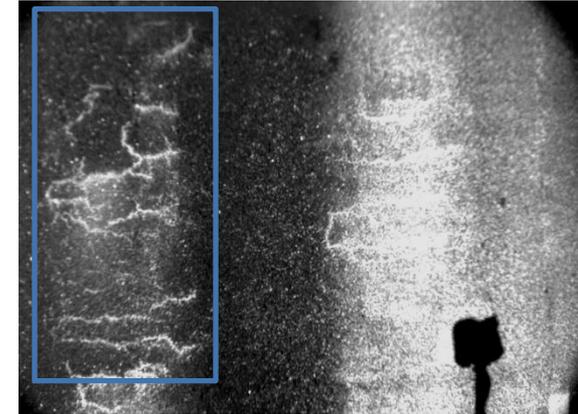
Vialidad urbana ≤ 0



CONTRATOS DE LARGO PLAZO BAJO INDICADORES DE DESEMPEÑO

Deterioros superficiales máximos permitidos en el Ciclo de Vida del Proyecto

- % de agrietamiento
 - Autopista de alta velocidad $\leq 5\%$
 - Camino principal $\leq 5\%$
 - Camino secundario $\leq 10\%$
 - Vialidad urbana $\leq 10\%$



CONTRATOS DE LARGO PLAZO BAJO INDICADORES DE DESEMPEÑO

Coeficiente de fricción (μ) en el Ciclo de Vida del Proyecto

Máximo permitido: 0.80

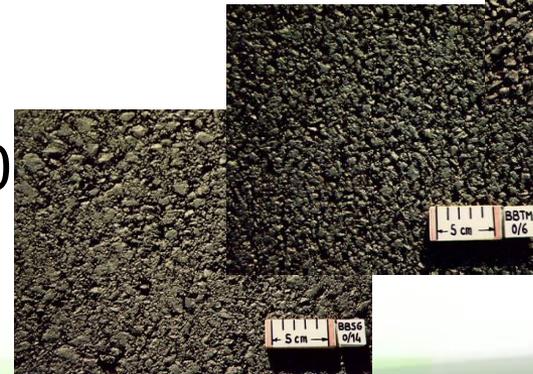
- Mínimo para pavimento mojado

Autopista de alta velocidad ≥ 0.60

Camino principal ≥ 0.60

Camino secundario ≥ 0.40

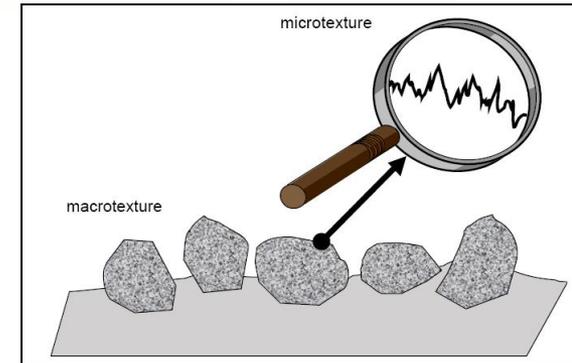
Vialidad urbana ≥ 0.50



CONTRATOS DE LARGO PLAZO BAJO INDICADORES DE DESEMPEÑO

Profundidad de la macrotextura en el Ciclo de Vida del Proyecto

- Mínimo para pavimento
Autopista de alta velocidad ≥ 1.50
Camino principal $\geq .70$
Camino secundario $\geq .60$
Vialidad urbana $\geq .50$



La metodología considera las características y condiciones existentes en la red vial o tramo en estudio al inicio del ciclo de vida del proyecto, para definir las estrategias de conservación propuestas que serán analizadas con el modelo
HDM-4



DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Antecedentes históricos de la red vial

- Tránsito Diario Promedio Anual
 - Para cada tramo o subtramo de la red
 - Composición vehicular
 - **% de vehículos pesados**
- Definición de la flota vehicular representativa



DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Clasificación de vehículos pesados

- Número de vehículos pesados diarios
 - Bajo: Tránsito pesado < 450 veh diarios
 - Medio: Tránsito pesado de 450 a 1500 veh diarios
 - Alto: Tránsito pesado de 1500 a 3400 veh diarios
 - Muy Alto: Tránsito pesado > 3400 veh diarios



DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Flota vehicular representativa

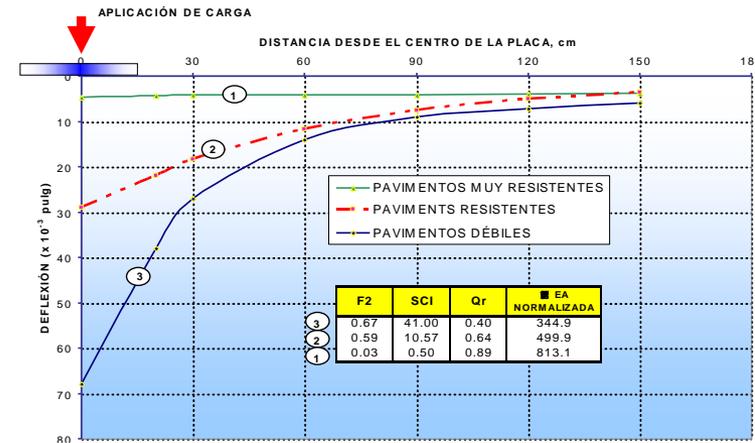
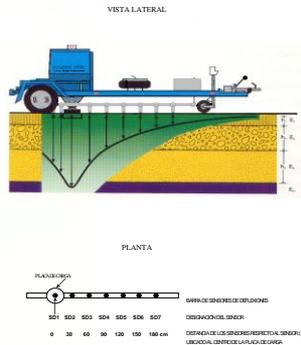
Tipo de vehículo	Modelo
A	VW Bora modelo 2009, con motor de 2.5 L y transmisión manual
B	Volvo 9700 modelo 2009 D13 w/EGR 13L-435 HP Motor a Diesel
C2	Dina 551 modelo 2001, con motor Caterpillar 3126B de 175 HP
C3	Dina 661 modelo 2001, con motor Caterpillar 3126B de 250 HP
T3-S2	International 9200i modelo 2008, con motor Cummins 435 HP y semirremolque de dos ejes con caja de 40'
T3-S3	International 9200i modelo 2008, con motor Cummins 450 HP y semirremolque de tres ejes con caja de 40'
T3-S2-R4	International 9200i modelo 2008, con motor Cummins 500 HP, semirremolque de dos ejes y remolque de 4 ejes, ambos con cajas de 40'



DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Condición estructural existente

- Deflexiones obtenidas con deflectómetro de impacto FWD o HWD a 700 Kpa



- BUENA: $\delta < 0.25$ mm (Deflexión baja)
- MEDIA: 0.25 mm $< \delta < 0.41$ mm (Deflexión media)
- MALA: $\delta > 0.41$ mm (Deflexión alta)



DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

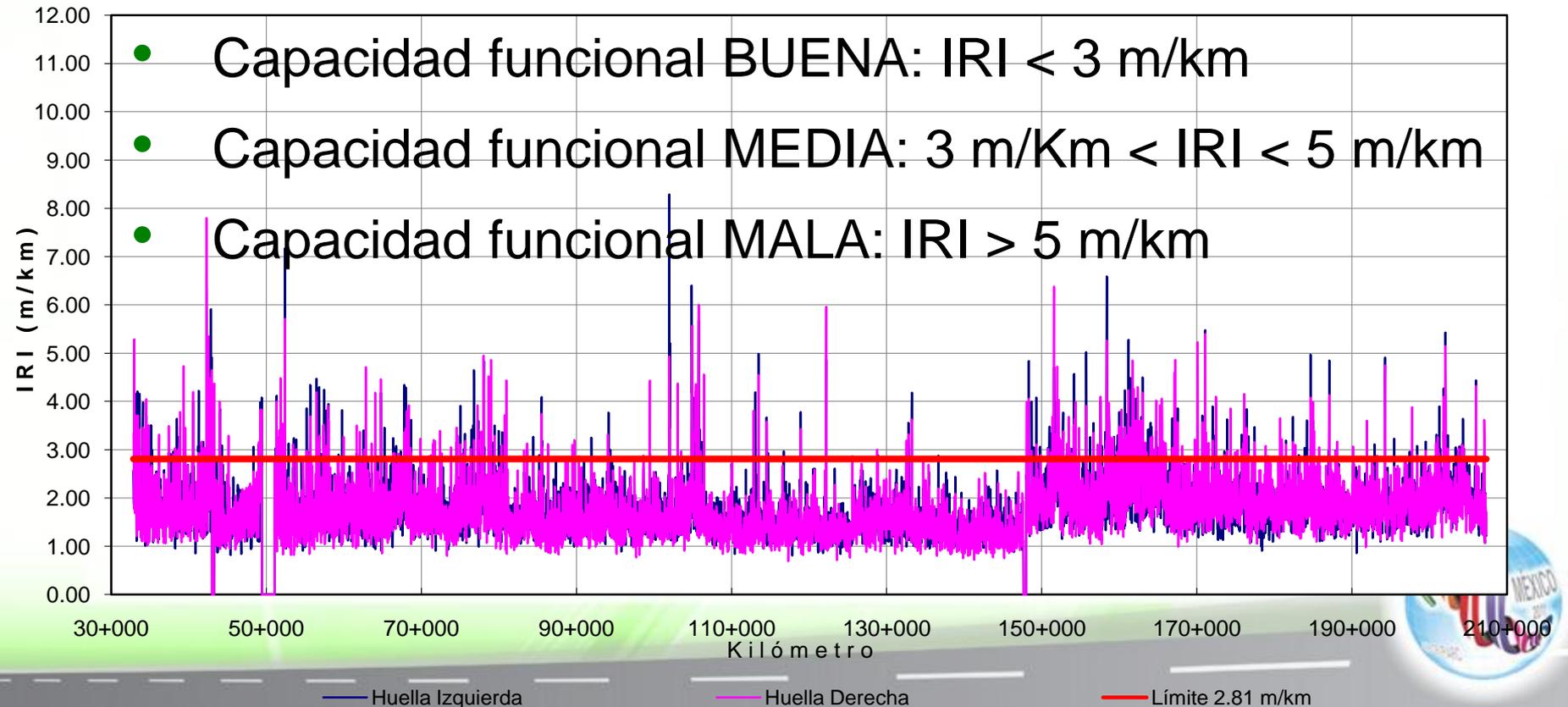
Condición funcional existente

- Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

- Capacidad funcional BUENA: $IRI < 3 \text{ m/km}$

- Capacidad funcional MEDIA: $3 \text{ m/Km} < IRI < 5 \text{ m/km}$

- Capacidad funcional MALA: $IRI > 5 \text{ m/km}$



DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Condición general del pavimento

- Relacionada directamente con la edad de la última intervención mayor
 - Última intervención < 7 años
 - Última intervención de 7 a 15 años
 - Última intervención > 15 años



DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Matriz de escenarios de pavimentos existentes en la red vial (al inicio del ciclo de proyecto)

CRITERIO PARA DEFINIR ESTRATEGIA DE CONSERVACION INICIAL													
Veh pesados diarios		<450			450 - 1,500			1,500 - 3,400			> 3,400		
Deflexión		Baja < 0.25	Media 0.25 - 0.40	Alta > 0.40	Baja < 0.26	Media 0.25 - 0.41	Alta > 0.41	Baja < 0.27	Media 0.25 - 0.42	Alta > 0.42	Baja < 0.28	Media 0.25 - 0.43	Alta > 0.43
IRI Existente	Edad Pavimento												
< 3	< 7												
	7 - 15												
	> 15												
3 - 5	< 7												
	7 - 15												
	> 15												
> 5	< 7												
	7 - 15												
	> 15												



DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Propuesta de estrategias de conservación, rehabilitación y reconstrucción INICIAL

CLAVE	ACTIVIDAD	ALCANCE
0	Conservación rutinaria	A realizar todos los años, incluye deshieve, desazolve de obras de drenaje, cunetas, bacheo superficial <5%, señalamiento horizontal, etc.
1	Bacheo Superficial en 5 % de la superficie	Considera realizar el bacheo en 5% del total de la superficie de rodamiento indicada.
2	Riego de sello	Riego de sello premezclado empleando emulsion asfáltica y material 3-A
3	Bacheo Profundo en 10 % superficie+Riego de sello	Bacheo profundo, con riego de sello empleando emulsion asfáltica con material 3-A
4	Microcarpeta	De 3.5 cm de espesor tipo SMA
5	Sobrecarpeta de 5 cm	Carpeta asfáltica densa
6	Sobrecarpeta de 8 cm	Carpeta asfáltica densa
7	Perfilado y carpeta de 10 cm	El espesor del fresado es de 10cm y el material resultante se considera como desperdicio, carpeta asfáltica densa de 10 cm.
8	Recuperación de BEC + carpeta de 5 cm	Recuperación de los materiales existentes de carpeta y base, estabilizando con cemento portland y colocación de carpeta densa de 8 cm de espesor.
9	Recuperación de BEC + carpeta de 10 cm	Recuperación de los materiales existentes de carpeta y base, estabilizando con cemento portland y colocación de carpeta densa de 10 cm de espesor.



DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Procedimiento matemático que pondera las variables de análisis

Criterio	Incidencia	Niveles Valor	Calificacion /Nivel	Calificacion Max	Calificacion Min	Procedim- Inicio	Rango Menor	Rango Mayor
IRI	45.00%	3	3.3333	4.5000	1.5000	0	3.0833	6.0000
TDPA	30.00%	4	2.5000	3.0000	0.7500	1	6.0001	6.4444
Edad Pav	15.00%	3	3.3333	1.5000	0.5000	2	6.4445	6.8889
Deflexión	10.00%	3	3.3333	1.0000	0.3333	3	6.8890	7.3333
Total	100.00%			10.0000	3.0833	4	7.3334	7.7778
				Dif Calif Max-May	4.0000	5	7.7779	8.2222
				Rango por Nivel Calif	0.4444	6	8.2223	8.6667
						7	8.6668	9.1111
						8	9.1112	9.5556
						9	9.5557	10.0000



DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Una vez hechos los procesos matemáticos

Calculo de Valores													
Veh pesados diarios		<450			450 - 1,500			1,500 - 3,400			> 3,400		
Deflexión		Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
IRI Existente	Edad Pavimento												
< 3	< 7	3.0833	3.4167	3.7500	3.8333	4.1667	4.5000	4.5833	4.9167	5.2500	5.3333	5.6667	6.0000
	7 - 15	3.5833	3.9167	4.2500	4.3333	4.6667	5.0000	5.0833	5.4167	5.7500	5.8333	6.1667	6.5000
	> 15	4.0833	4.4167	4.7500	4.8333	5.1667	5.5000	5.5833	5.9167	6.2500	6.3333	6.6667	7.0000
3 - 5	< 7	4.5833	4.9167	5.2500	5.3333	5.6667	6.0000	6.0833	6.4167	6.7500	6.8333	7.1667	7.5000
	7 - 15	5.0833	5.4167	5.7500	5.8333	6.1667	6.5000	6.5833	6.9167	7.2500	7.3333	7.6667	8.0000
	> 15	5.5833	5.9167	6.2500	6.3333	6.6667	7.0000	7.0833	7.4167	7.7500	7.8333	8.1667	8.5000
> 5	< 7	6.0833	6.4167	6.7500	6.8333	7.1667	7.5000	7.5833	7.9167	8.2500	8.3333	8.6667	9.0000
	7 - 15	6.5833	6.9167	7.2500	7.3333	7.6667	8.0000	8.0833	8.4167	8.7500	8.8333	9.1667	9.5000
	> 15	7.0833	7.4167	7.7500	7.8333	8.1667	8.5000	8.5833	8.9167	9.2500	9.3333	9.6667	10.0000



DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Definición de las estrategias de conservación inicial

Determinación del criterio de estrategia de conservación inicial													
Veh pesados diarios		<450			450 - 1,500			1,500 - 3,400			> 3,400		
Deflexión		Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
IRI	Edad Pavimento												
< 3	< 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7 - 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
	> 15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3
3 - 5	< 7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4
	7 - 15	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	5
	> 15	2	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6
> 5	< 7	2	2	2	2	3	4	4	5	6	6	6	7
	7 - 15	2	3	3	3	4	5	5	6	7	7	8	8
	> 15	3	4	4	5	5	6	6	7	8	8	9	9



MODELACIÓN CON EL SISTEMA HDM-4

Las estrategias de conservación iniciales se corren en el modelo HDM-4

- Umbrales de referencia (IRI, PR, CF, etc.)
- Horizonte de proyecto
- Flota vehicular representativa
- Historial de conservación
- TDPA y tasas de crecimiento



MODELACIÓN CON EL SISTEMA HDM-4

Estrategias de conservación según volumen de tránsito pesado

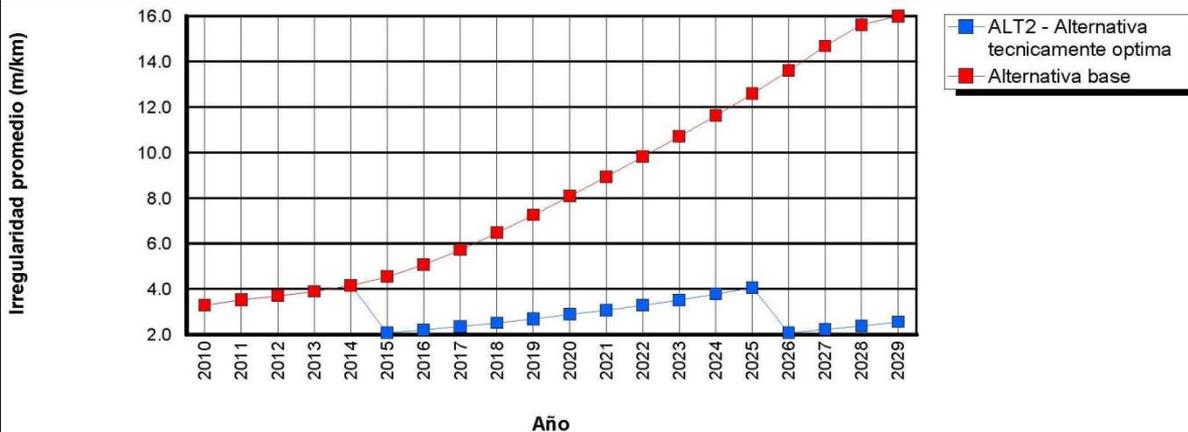
TDPA VEH PESADOS DIARIOS	ACCION INICIAL DE CONSERVACIÓN	CD	U	ACCIONES SUBSECUENTES PERIÓDICAS	CD	U
BAJO < 450	Fresado de 5 cm + carpeta de 5 cm para IRI > 3	\$ 139.27	m2	Riego de sello para IRI > IRIref	\$ 53.49	m2
MEDIO 450 - 1500	Fresado de 5 cm + carpeta de 5 cm para IRI > 3	\$ 139.27	m2	Fresado + carpeta de 4 cm para IRI > IRI ref	\$ 112.72	m2
ALTO 1500 - 3400	Fresado de 5 cm + Recuperación BEC 4% de 25 cm + carpeta de 8 cm para IRI > 4 o PR > 12	\$ 293.23	m2	Fresado + carpeta de 5 cm para IRI > IRI ref	\$ 165.82	m2
MUY ALTO > 3400	Fresado de 5 cm + Recuperación BEC 4% de 25 cm + carpeta de 10 cm para IRI > 4 o PR > 12	\$ 341.96	m2	Fresado + carpeta de 5cm para IRI > IRI ref	\$ 218.91	m2

BEC: Base estabilizada con cemento portland al 4 % de su PVSM, incorporando material de banco (grava) en un 15 %

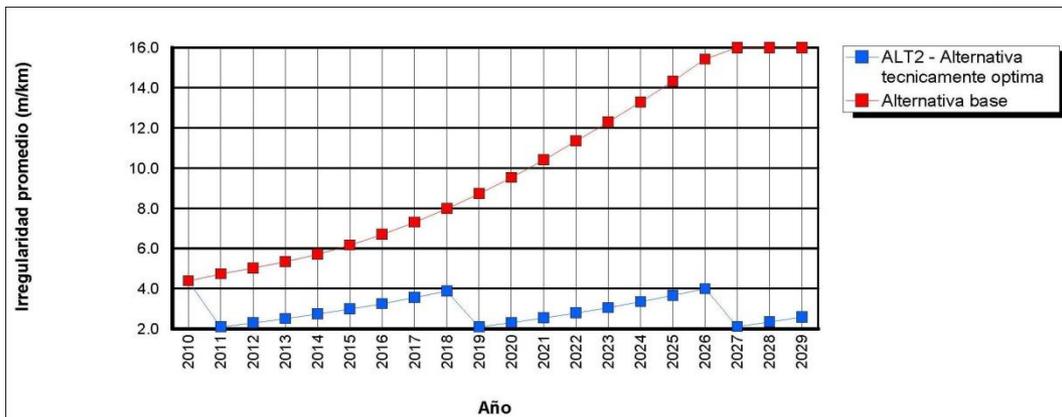
IRI ref: Valor del Índice Internacional de Irregularidad Superficial máximo permitido para cada una de las carreteras o vialidades



MODELACIÓN CON EL SISTEMA HDM-4



Resultado de corridas con modelo HDM-4



CONCLUSIONES

- **Promover una cultura de sistemas de administración de pavimentos para todos los niveles que administren redes viales.**
- **Realizar acopio permanente de datos sobre la red vial y llevar un seguimiento adecuado.**



CONCLUSIONES

- **Utilizar nuevas tecnologías para la auscultación de pavimentos, así como herramientas informáticas especializadas para el manejo de tal volumen de información.**
- **El HDM-4 es una poderosa herramienta para la gestión de pavimentos.**



MUCHAS GRACIAS

