



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE  
HIDALGO**



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE  
EN LA RAMA DE LAS VÍAS TERRESTRES**

**“Análisis integral de las alternativas de conservación de los  
tramos carreteros del contrato plurianual de conservación de  
carreteras Michoacán (CPCC) región Zamora, mediante la  
aplicación del HDM-4”.**

**TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA  
DE LAS VÍAS TERRESTRES**

**PRESENTA:**

**Ing. Gerardo López Bustamante**

**ASESOR:**

**Dr. Mario Salazar Amaya**

**CO-ASESORES:**

**Dr. Jaime Saavedra Rosales**

**M.C. José Ricardo Solorio Murillo**

## **Agradecimientos**

Primeramente, le agradezco a Dios que me haya dado la oportunidad de alcanzar mis metas y poner en mi camino a las personas indicadas para ser un profesionista con buenos principios.

A mis padres y a mi abuela por creer en mí y por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y adquirir más conocimientos para desarrollarme de la mejor manera en el ámbito profesional.

Al Instituto Mexicano del Transporte por haberme aceptado en sus instalaciones y enseñarme la metodología HDM-4 para cumplir con los objetivos planteados íntegramente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haberme brindado el apoyo para cubrir mi manutención durante el período de duración del programa de posgrado.

A la Secretaria de Comunicaciones de Transportes por haberme facilitado la información necesaria para llevar a cabo el presente trabajo.

A el Ing. Pedro Mayoral Moreno, ex catedrático de la Universidad de Guadalajara, quien me compartió gran parte de sus conocimientos y me motivó para tomar la decisión de realizar mis estudios de posgrado.

## Resumen

En éste trabajo es presentado un análisis integral de las acciones de conservación utilizadas en el Contrato Plurianual de Conservación de Carreteras Michoacán (CPCC) de la región Zamora. El trabajo contiene una base teórica de la conservación de carreteras, los sistemas de gestión de pavimentos y la metodología HDM-4.

De igual manera, se muestran los datos requeridos de cada tramo para alimentar el HDM-4: estructura del camino, geometría, tránsito, clima, deflexiones, profundidad de roderas, IRI, resistencia al deslizamiento y deterioros, esta información es indispensable para llevar a cabo el seccionamiento homogéneo de los tramos y la conformación de las alternativas de conservación que se utilizarán en el análisis, dichos procesos se encuentran documentados en este trabajo.

En lo que respecta a la alimentación de la información al HDM-4, se menciona una forma ágil de realizarlo mediante la importación y exportación de los datos con ayuda de otros programas. Realizado lo anterior, inicia el procedimiento para saber que herramienta de análisis y método de optimización se utilizarán para el desarrollo del análisis.

Finalmente, con el programa de trabajos optimizado y el resumen de indicadores económicos, obtenidos de los informes finales, se asegura una conservación adecuada de los tramos en estudio.

Palabras clave: Conservación de carreteras, sistemas de gestión de pavimentos, HDM-4, análisis económico y optimización.

## **Abstract**

An integral analysis of the maintenance works applied in the Zamora region CPCC (Multiannual Road Maintenance Contract) is presented in this document. It includes a discussion of the conceptual background of road maintenance, pavement management systems and the HDM-4 (Highway Develop and Management) methodology.

Also, data required as input to the various sections of HDM-4 is described: road structural and geometric design, traffic, weather, deflections, rutting, IRI, skid resistance and surface distresses. This information is crucial to carry out road segmentation to generate the homogeneous sections needed for the analysis and to identify the maintenance alternatives that will be evaluated. The above procedures are documented throughout the document.

Regarding data input to HDM-4, a straightforward method for carrying it out through data import and export using additional software is also described. Once the information is ready, the procedure for selecting and optimizing the works program is started.

The optimized works program provide a final solution suitable both technically and economically for maintaining the road sections.

## Índice de gráficas

Gráfica 1.1. Movimiento de cargas en México (2000-2012).	1
Gráfica 1.2. Movimiento de personas en México (2000-2012).	2
Gráfica 1.3. Índice de competitividad de la infraestructura.	3
Gráfica 1.4. Inversión en comunicaciones y transportes	4
Gráfica 1.5. Inversión en áreas de la red federal.	4
Gráfica 1.6. Comparación entre inversiones de 2012 y 2013 para cada área	5
Gráfica 1.7. Inversión de conservación del año 2007.	5
Gráfica 1.8. Efecto de las carreteras sobre los costos de operación.	7
Gráfica 2.9. Gráfica ISA-Tiempo.	17
Gráfica 2.10. Gráfica de IP	17
Gráfica 2.11. Gráfica IRI-Tiempo.	19
Gráfica 2.12. Gráfica de IFI.	22
Gráfica 2.13. Gráfica de SN-N.	25
Gráfica 2.14. Integración del costo total de transporte.	59
Gráfica 3.15. Gráfica de diferencias acumuladas para IRI	149
Gráfica 3.16. Delimitación de subtramos.	150
Gráfica 3.17. Gráfica de irregularidad promedio de cada alternativa.	199
Gráfica 3.18. Gráfica de irregularidad promedio con análisis de estrategia.	202
Gráfica 3.19. Gráfica de irregularidad promedio con análisis de programa.	202
Gráfica 3.20. Aplicación de trabajos después del tiempo acordado	210
Gráfica 3.21. Falta de diferencia entre efectos de acciones de conservación.	211
Gráfica 3.22. Ejemplo de niveles de IRI en reconstrucción.	216
Gráfica 3.23. Ejemplo de niveles de IRI en fresado y reemplazo.	217
Gráfica 4.24. Comparación de IRI promedio entre programa sin y con restricciones.	222
Gráfica 4.25. Gráfica final de IRI promedio de HDM-4	222
Gráfica 4.26. Comparación de valor presente neto entre programa sin y con restricciones.	223
Gráfica 4.27. Comparación de costos acumulados entre programa sin y con restricciones.	224
Gráfica 4.28. Irregularidad promedia obtenida por los contratistas.	229
Gráfica 4.29. Irregularidad promedia obtenida en este trabajo.	230

## Índice de figuras

Figura 1. Conectividad del país	2
Figura 2. Red nacional de carreteras	3

Figura 3. Causas de accidentes.....	7
Figura 4. Escala de IRI.....	20
Figura 5. Importancia de IRI dentro del esquema de análisis del HDM-4. ....	21
Figura 6. Tipos de textura .....	23
Figura 7. Componentes del sistema de gestión. ....	30
Figura 8. Ciclo de gestión.....	31
Figura 9. Etapas del sistema de gestión. ....	34
Figura 10. Proceso de toma de decisiones. ....	39
Figura 11. Ambiente dentro de la gestión.....	40
Figura 12. Criterios para dar solución a un problema económico. ....	40
Figura 13. Procedimiento general de trabajo del HDM-4. ....	48
Figura 14. Estructura de HDM-4.....	49
Figura 15. Modelos de deterioro; a) Determinista y b) Probabilístico. ....	55
Figura 16. Componentes del cambio de regularidad.....	62
Figura 17. Análisis ciclo de vida. ....	69
Figura 18. Localización geográfica de paquetes CPCC.....	76
Figura 19. Especificaciones sobre el uso de HDM-4 y la información requerida...	80
Figura 20. Especificación de umbrales.....	80
Figura 21. Especificación de vida remanente.....	81
Figura 23. Fin del tramo Zac.-Car. ....	82
Figura 22. Inicio del tramo Zac.-Car. ....	82
Figura 24. Estructura del camino de Zac.-Car. 82-93.....	83
Figura 25. Estructura del camino de Zac.-Car. 93-99.....	83
Figura 26. Curvas 1 Zac.-Car. ....	85
Figura 27. Curvas 2 Zac.-Car. ....	86
Figura 28. Curvas 3 Zac.-Car. ....	86
Figura 29. Curvas 4 Zac.-Car. ....	87
Figura 30. Perfil longitudinal Zac.-Car. ....	88
Figura 31. TDPA representativo de Zac.-Car. ....	89
Figura 32. Estación aforadora 77+000 Zac.-Car. ....	91
Figura 33. Estación aforadora 105+020 Zac.-Car. ....	91
Figura 34. Zonas climáticas del estado de Michoacán.....	92
Figura 35. Clima de Zac.-Car. ....	93
Figura 36. Estación climatológica 00016240 El Pueblito, Zacapu.....	93
Figura 37. Inicio del tramo Car.-Zam.....	101
Figura 38. Fin del tramo Car.-Zam. ....	101
Figura 39. Estructura del camino de Car.-Zam. 109.3-120 .....	102
Figura 40. Estructura del camino de Car.-Zam. 120-131 .....	102
Figura 41. Estructura del camino de Car.-Zam. 131-141 .....	103
Figura 42. Curvas 1 Car.-Zam.....	106
Figura 43. Curvas 2 Car.-Zam.....	106

Figura 44. Curvas 3 Car.-Zam.....	107
Figura 45. Perfil longitudinal Car.-Zam.....	108
Figura 46. TDPA representativo de Car.-Zam.....	109
Figura 48. Estación aforadora 123+500 Car.-Zam.....	111
Figura 47. Estación aforadora 115+000 Car.-Zam.....	111
Figura 49. Estación aforadora 131+200 Car.-Zam.....	112
Figura 50. Estación aforadora 139+500 Car.-Zam.....	112
Figura 51. . Estación aforadora 141+400 Car.-Zam.....	112
Figura 52. Clima de Car.-Zam.....	113
Figura 53. Estación climatológica 00016125 Tangancícuaro, Tangancícuaro ....	113
Figura 54. Fin del tramo Lib. Nte. Zam.....	120
Figura 55. Inicio del tramo Lib. Nte. Zam .....	120
Figura 56. Estructura del camino de Lib. Nte. Zam. 0-14.7 .....	120
Figura 57. Curvas 1 Lib. Nte. Zam. ....	122
Figura 58. Curvas 2 Lib. Nte. Zam. ....	123
Figura 59. Perfil longitudinal Lib. Nte. Zam. ....	124
Figura 60. TDPA representativo de Lib. Nte. Zam.....	125
Figura 61. Estación aforadora 0+000 Lib. Nte. Zam.....	127
Figura 62. Estación aforadora 7+250 Lib. Nte. Zam.....	127
Figura 63. Estación aforadora 9+910 Lib. Nte. Zam.....	127
Figura 64. Estación aforadora 14+700 Lib. Nte. Zam.....	127
Figura 65. Clima de Lib. Nte. Zam.....	128
Figura 66. Estación climatológica 00016048 Zamora (DGE), Zamora .....	128
Figura 67. Inicio del tramo Vist.H.-Bris. ....	134
Figura 68. Inicio del tramo Vist.H.-Bris. ....	134
Figura 69. Estructura del camino de Vist. H.-Bris. 46-55.9.....	135
Figura 70. Curvas 1 Vist. H.-Bris. ....	137
Figura 71. Perfil longitudinal Vist. H.-Bris. ....	138
Figura 72. TDPA representativo de Vist. H.-Bris.. ....	139
Figura 73. Estación aforadora 46+000 Vist. H.-Bris. ....	141
Figura 74. Estación aforadora 55+900 Vist. H.-Bris. ....	141
Figura 75. Clima de Vist. H.-Bris. ....	142
Figura 76. Estación climatológica 00016030 Cuimato, Briseñas.....	142
Figura 77. Segmentación dinámica con información agregada.....	149
Figura 78. Larguillos para segmentación dinámica con información agregada ...	152
Figura 79. Secciones homogéneas. ....	154
Figura 80. Componentes de alternativas.....	155
Figura 81. Composición del estándar de conservación.....	156
Figura 82. Alternativas de contratistas Zacapu-Carapan. ....	157
Figura 83. Alternativas de contratistas Carapan-Zamora. ....	157
Figura 84. Alternativas de contratistas Libramiento Norte de Zamora.....	157

Figura 85. Alternativas de contratistas Vista Hermosa-Briseñas.....	158
Figura 86. Profundidades de Z y Zj para el cálculo de SNSUBA.....	160
Figura 87. Profundidad de Zm para el cálculo de SNSUBG.....	161
Figura 88. Consideración para sub-rasante. ....	162
Figura 89. Elementos que conforman la sección de Configuración.....	173
Figura 90. Definición de la serie de calibración CPCC.....	174
Figura 91. Detalles de acotamiento en serie de calibración. ....	175
Figura 92. Modificaciones a la sección de tipo de geometría. ....	176
Figura 93. Definición de Clima 1. ....	177
Figura 94. Definición de Clima 2. ....	177
Figura 95. Definición de Clima 3. ....	178
Figura 96. Modelo de tránsito CPCC.....	179
Figura 97. Velocidad/capacidad CPCC. ....	180
Figura 98. Tipos de accidentes CPCC. ....	181
Figura 99. Peso como unidad monetaria.....	181
Figura 100. Sección de Flota vehicular y Red de carreteras.....	182
Figura 101. Nombre y unidad monetaria de la flota vehicular. ....	183
Figura 102. Conformación de la Flota red federal. ....	183
Figura 103. Series de crecimiento vehicular.....	186
Figura 104. Nombre, flota vehicular y serie de calibración para la red de carreteras. .....	186
Figura 105. Sección homogénea cargada en la red de carreteras.....	187
Figura 106. Tablas generadas en Access de la red de carreteras. ....	187
Figura 107. FILETYPE de red de carreteras. ....	188
Figura 108. ROADNET de red de carreteras.....	188
Figura 109. SECTIONS de red de carreteras.....	189
Figura 110. TRAFFIC de red de carreteras.....	190
Figura 111. Secciones homogéneas cargadas completamente dentro de la red de carreteras. ....	190
Figura 112. MAINTSTDS de estándar de trabajo.....	192
Figura 113. RESPONINT de estándar de trabajo.....	192
Figura 114. WORKS de estándar de trabajo.....	193
Figura 115. Pestaña general del análisis. ....	194
Figura 116. Pestaña de tramos de estudio del análisis. ....	194
Figura 117. Tramos con sus alternativas. ....	196
Figura 118. Ejecución de corrida.....	196
Figura 119. Trabajos a ejecutar y costo acumulado del programa.....	197
Figura 120. Informes generados por el HDM-4. ....	198
Figura 121. Análisis de estrategia maximizando VPN.....	200
Figura 122. Análisis de programa ciclo de vida. ....	200
Figura 123. Programa de trabajos con análisis de estrategia. ....	201

Figura 124. Programa de trabajos con análisis de programa.....	201
Figura 125. Alternativa 1 con distintos años de actuación. ....	204
Figura 127. Monto requerido para la etapa de conservación. ....	205
Figura 126. Monto requerido para la etapa de desarrollo.....	205
Figura 128. Restricciones presupuestales CPCC. ....	206
Figura 129. Asignación de 1 alternativa base bajo restricciones presupuestales CPCC.....	207
Figura 130. Restricciones presupuestales modificadas. ....	207
Figura 131. Sin asignación de alternativa base bajo restricciones presupuestales modificadas. ....	208
Figura 132. Asignación de 8 alternativas base bajo restricciones presupuestales modificadas. ....	208
Figura 133. Alternativas completas para análisis final.....	210

## Índice de tablas

Tabla 1.1. Causas de accidentes atribuibles a la carretera.....	6
Tabla 1.2. Tramos carreteros del CPCC de la región Zamora .....	12
Tabla 2.3. Calificación de ISA. ....	16
Tabla 2.4. Valores de IP.....	18
Tabla 2.5. Niveles de servicio.....	24
Tabla 2.6. Proceso de gestión.....	29
Tabla 2.7. Relación entre funciones de gestión y las aplicaciones de HDM-4. ....	54
Tabla 2.8. Deterioros modelados por el HDM-4. ....	61
Tabla 2.9. Valores de PR. ....	64
Tabla 2.10. Estándares de desempeño.....	75
Tabla 2.11. Tramos que comprende el CPCC del estado de Michoacán.....	77
Tabla 2.12. Tramos en estudio de la región Zamora.....	78
Tabla 3.13. Espesores y VRS de Zac.-Car. 82-93 .....	83
Tabla 3.14. Espesores y VRS de Zac.-Car. 93-99 .....	83
Tabla 3.15. Trabajos previos Zac.-Car. ....	84
Tabla 3.16. Anchos de corona Zac.-Car.....	85
Tabla 3.17. Grados de curvatura Zac.-Car.....	87
Tabla 3.18. Tipos de secciones Zac.-Car.....	88
Tabla 3.19. Clasificación vehicular Zac.-Car. ....	90
Tabla 3.20. Clasificación vehicular modificada Zac.-Car.....	90
Tabla 3.21. Tasas de crecimiento Zac.-Car.....	91
Tabla 3.22. Valores de temperatura media y precipitación mensual Zac.-Car. ....	94
Tabla 3.23. Deflexiones de Zac.-Car.....	94
Tabla 3.24. Deflexiones del plato Zac.- Car. ....	95

Tabla 3.25. Profundidad de roderas Zac.-Car. ....	95
Tabla 3.26. IRI Zac.-Car. ....	96
Tabla 3.27. Resistencia al deslizamiento Zac.-Car. ....	96
Tabla 3.28. Deterioros Zac.-Car. ....	97
Tabla 3.29. Criterios para ACW.....	98
Tabla 3.30. Valores de ACA y ACW Zac.-Car. ....	98
Tabla 3.31. Valores de agrietamiento térmico Zac.-Car. ....	99
Tabla 3.32. Criterio para No. de baches por Km Zac.-Car. ....	99
Tabla 3.33. No. de baches Zac.-Car. ....	99
Tabla 3.34. Valores de rotura de borde Zac.-Car. ....	100
Tabla 3.35. Valores de desprendimiento de agregados Zac.-Car. ....	101
Tabla 3.36. Espesores y VRS de Car.-Zam. 109.3 -120 .....	102
Tabla 3.37. Espesores y VRS de Car.-Zam. 120-131 .....	102
Tabla 3.38. Espesores y VRS de Car.-Zam. 131-141 .....	103
Tabla 3.39. Trabajos previos Car.-Zam.....	104
Tabla 3.40. Anchos de corona Car.-Zam. ....	105
Tabla 3.41. Grados de curvatura Car.-Zam.....	107
Tabla 3.42. Tipos de secciones Car.-Zam.....	108
Tabla 3.43. Clasificación vehicular Car.-Zam.....	110
Tabla 3.44. Clasificación vehicular modificada Car-Zam.....	110
Tabla 3.45. Tasas de crecimiento Car.-Zam. ....	111
Tabla 3.46. Valores de temperatura media y precipitación mensual Car.-Zam. ...	114
Tabla 3.47. Deflexiones de Car.-Zam .....	114
Tabla 3.48. Deflexiones del plato Car.-Zam. ....	115
Tabla 3.49. Profundidad de roderas Car.-Zam. ....	115
Tabla 3.50. IRI Car.-Zam.....	116
Tabla 3.51. Resistencia al deslizamiento Car.-Zam. ....	116
Tabla 3.52. Deterioros Car.-Zam.....	117
Tabla 3.53. Valores de ACA y ACW Car.-Zam.....	117
Tabla 3.54. Valores de agrietamiento térmico Car.-Zam.....	118
Tabla 3.55. No. de baches Car.-Zam. ....	118
Tabla 3.56. Valores de rotura de borde Car.-Zam.....	119
Tabla 3.57. Valores de desprendimiento de agregados Car.-Zam. ....	119
Tabla 3.58. Espesores y VRS de Lib. Nte. Zam. 0-14.7 .....	120
Tabla 3.59. Trabajos previos Lib. Nte. Zam. ....	121
Tabla 3.60. Anchos de corona Lib. Nte. Zam. ....	122
Tabla 3.61. Grados de curvatura Lib. Nte. Zam. ....	123
Tabla 3.62. Tipos de secciones Lib. Nte. Zam. ....	123
Tabla 3.63. Clasificación vehicular Lib. Nte. Zam.....	125
Tabla 3.64. Clasificación vehicular modificada Lib. Nte. Zam. ....	126
Tabla 3.65. Tasas de crecimiento Lib. Nte. Zam. ....	126

Tabla 3.66. Valores de temperatura media y precipitación mensual Lib. Nte. Zam. .....	129
Tabla 3.67. Deflexiones de Lib. Nte. Zam. ....	129
Tabla 3.68. Deflexiones del plato Lib. Nte. Zam.....	130
Tabla 3.69. Profundidad de roderas Lib. Nte. Zam.....	130
Tabla 3.70. IRI Lib. Nte. Zam. ....	131
Tabla 3.71. Resistencia al deslizamiento Lib. Nte. Zam.....	131
Tabla 3.72. Deterioros Lib. Nte. Zam. ....	132
Tabla 3.73. Valores de ACA y ACW Lib. Nte. Zam. ....	132
Tabla 3.74. Valores de agrietamiento térmico Lib. Nte. Zam.....	133
Tabla 3.75. No. de baches Lib. Nte. Zam.....	133
Tabla 3.76. Valores de rotura de borde Lib. Nte. Zam. ....	133
Tabla 3.77. Valores de desprendimiento de agregados Lib. Nte. Zam.....	134
Tabla 3.78. Espesores y VRS de Vist. H.-Bris. 46-55.9 .....	135
Tabla 3.79. Trabajos previos Vist. H.-Bris. ....	135
Tabla 3.80. Anchos de corona Vist. H.-Bris.....	136
Tabla 3.81. Grados de curvatura Vist. H.-Bris.....	137
Tabla 3.82. Tipos de secciones Vist. H.-Bris.....	138
Tabla 3.83. Clasificación vehicular Vist.H.-Bris. ....	140
Tabla 83.4. Clasificación vehicular modificada Vist. H.-Bris.....	140
Tabla 83.5. Tasas de crecimiento Vist. H.-Bris.....	141
Tabla 83.6. Valores de temperatura media y precipitación mensual Vist. H.-Bris. .....	143
Tabla 3.87. Deflexiones de Vist. H.-Bris.....	143
Tabla 3.88. Deflexiones del plato Vist. H.-Bris. ....	144
Tabla 3.89. Profundidad de roderas Vist. H.-Bris.. .....	144
Tabla 3.90. IRI Vist. H.-Bris. ....	145
Tabla 3.91. Resistencia al deslizamiento Vist. H.-Bris.. .....	145
Tabla 3.92. Deterioros Vist. H.-Bris. ....	146
Tabla 3.93. Valores de ACA y ACW Vist. H.-Bris. ....	146
Tabla 3.94. Valores de agrietamiento térmico Vist. H.-Bris. ....	147
Tabla 3.95. No. de baches Vist. H.-Bris. ....	147
Tabla 3.96. Valores de rotura de borde Vist. H.-Bris. ....	147
Tabla 3.97. Valores de desprendimiento de agregados Vist. H.-Bris. ....	148
Tabla 3.98. Valores representativos de las series delimitadas con diferencias acumuladas .....	150
Tabla 3.99. Alternativas óptimas de contratistas. ....	156
Tabla 3.100. Coeficientes de modelaje. ....	160
Tabla 3.101. Coeficientes de resistencia por capa.....	161
Tabla 3.102. Espesores y SNP 82-93. ....	163
Tabla 3.103. Espesores y SNP 93-109.3. ....	163

Tabla 3.104. Espesores y SNP 109.3-120. ....	163
Tabla 3.105. Espesores y SNP 120-131. ....	164
Tabla 3.106. Espesores y SNP 131-141.4. ....	164
Tabla 3.107. Espesores y SNP 0-14.7. ....	164
Tabla 3.108. Espesores y SNP 46-55.9. ....	165
Tabla 3.109. Guía 1 para armar alternativas. ....	165
Tabla 3.110. Guía 2 para armar alternativas. ....	166
Tabla 3.111. Guía 3 para armar alternativas. ....	167
Tabla 3.112. Jerarquización de acciones de conservación. ....	168
Tabla 3.113. Alternativas de conservación Zacapu-Carapan. ....	169
Tabla 3.114. Alternativas de conservación Carapan-Zamora. ....	170
Tabla 3.115. Alternativas de conservación Libramiento Norte de Zamora. ....	171
Tabla 3.116. Alternativas de conservación Vista Hermosa-Briseñas. ....	172
Tabla 3.117. Pesos de todos los vehículos en condición de vacíos y cargados. ....	184
Tabla 3.118. Pesos de operación y ejes equivalentes (ESALF) de cada vehículo. ....	185
Tabla 3.119. Resumen de indicadores económicos. ....	198
Tabla 3.120. Resumen de indicadores económicos con análisis de estrategia. ....	203
Tabla 3.121. Resumen de indicadores económicos con análisis de programa. ....	203
Tabla 3.122. Alternativas de conservación Zacapu-Carapan modificadas. ....	212
Tabla 3.123. Alternativas de conservación Carapan-Zamora modificadas. ....	213
Tabla 3.124. Alternativas de conservación Libramiento Norte de Zamora modificadas. ....	214
Tabla 3.125. Alternativas de conservación Vista Hermosa-Briseñas modificadas. ....	215
Tabla 4.126. Programa de trabajos final sin restricciones. ....	220
Tabla 4.127. Programa de trabajos final con restricciones. ....	221
Tabla 4.128. Costo acumulado de programa de trabajos sin restricciones. ....	223
Tabla 4.129. Costo acumulado de programa de trabajos con restricciones. ....	224
Tabla 4.130. Programa detallado con restricciones presupuestales CPCC. ....	225
Tabla 4.131. Presupuesto disponible para etapa de desarrollo. ....	227
Tabla 4.132. Presupuesto disponible para etapa de conservación. ....	227
Tabla 4.133. Comparación entre resultados obtenidos por los contratistas y en este trabajo. ....	228

## Índice de ecuaciones

Ecuación 2.1. Cálculo del cambio total de regularidad. ....	65
Ecuación 2.2. Cálculo de regularidad final. ....	66

Ecuación 3.3. Cálculo de rotura de borde. ....	100
Ecuación 3.4. Cálculo de número estructural ajustado (SNP).....	158
Ecuación 3.5. Cálculo de número estructural de capa superficial y de base (SNBASU).....	159
Ecuación 3.6. Cálculo de número estructural de sub-base (SNSUBA). ....	159
Ecuación 3.7. Cálculo de número estructural de sub-rasante (SNSUBG).....	160
Ecuación 3.8. Cálculo de factor de daño para eje sencillo. ....	184
Ecuación 3.9. Cálculo de factor de daño para eje tandem .....	184
Ecuación 3.10. Cálculo de factor de daño para eje tridem. ....	184

# Índice

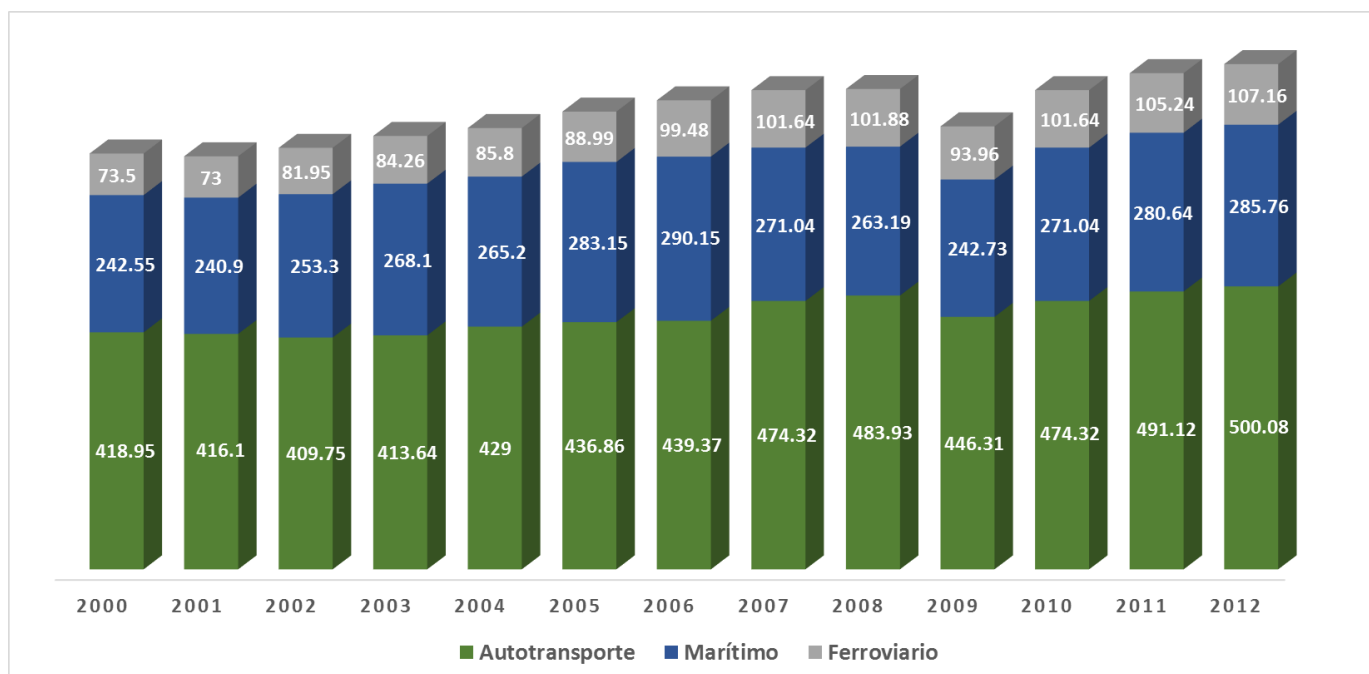
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>i</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>ii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>iii</b>
<b>Índice de gráficas</b> .....	<b>iv</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>iv</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice de ecuaciones</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema y motivación.....	1
1.2. Objetivo general.....	9
1.3. Objetivos particulares.....	9
1.4. Justificación.....	10
1.5. Hipótesis .....	12
1.6. Población .....	12
1.7. Muestra .....	12
<b>2. Marco teórico</b> .....	<b>13</b>
2.1. Conservación de carreteras .....	13
2.2. Gestión de pavimentos .....	26
2.3. Sistemas de gestión de pavimentos.....	30
2.4. Toma de decisiones .....	38
2.5. HDM-4.....	41
2.5.1. Antecedentes .....	41
2.5.2. Metodología HDM-4.....	46
2.5.3. Gestores del HDM-4 .....	49
2.5.4. Herramientas de análisis del HDM-4 .....	52
2.5.5. Modelos del HDM-4 .....	54
2.6. Modelos de contratación utilizados por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes.....	70
2.6.1. Antecedentes.....	70

2.6.2. Contrato Plurianual de Conservación de Carreteras (CPCC) .....	73
<b>3. Marco metodológico .....</b>	<b>78</b>
3.1. Obtención de información .....	78
3.1.1. Tramo Zacapu - Carapan.....	82
3.1.2. Tramo Carapan - Zamora. ....	101
3.1.3. Tramo Libramiento Norte de Zamora.....	119
3.1.4. Tramo Vista Hermosa - Briseñas.....	134
3.2. Pre-procesamiento de información .....	148
3.2.1. Creación de secciones homogéneas.....	148
3.2.2. Definición de alternativas.....	154
3.2.3. Almacenamiento de información en HDM-4 .....	173
3.3. Procesamiento de información.....	193
3.3.1. Realización de análisis en el HDM-4 .....	193
<b>4. Obtención de resultados .....</b>	<b>220</b>
4.1. Diferencias entre programa sin y con restricciones presupuestales .....	220
4.2. Programa de trabajos optimizado con restricciones.....	225
4.3. Comparación con informes presentados a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes .....	228
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>231</b>
<b>6. Sugerencias para trabajos futuros .....</b>	<b>233</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>234</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>240</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>246</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>254</b>

# 1. Introducción

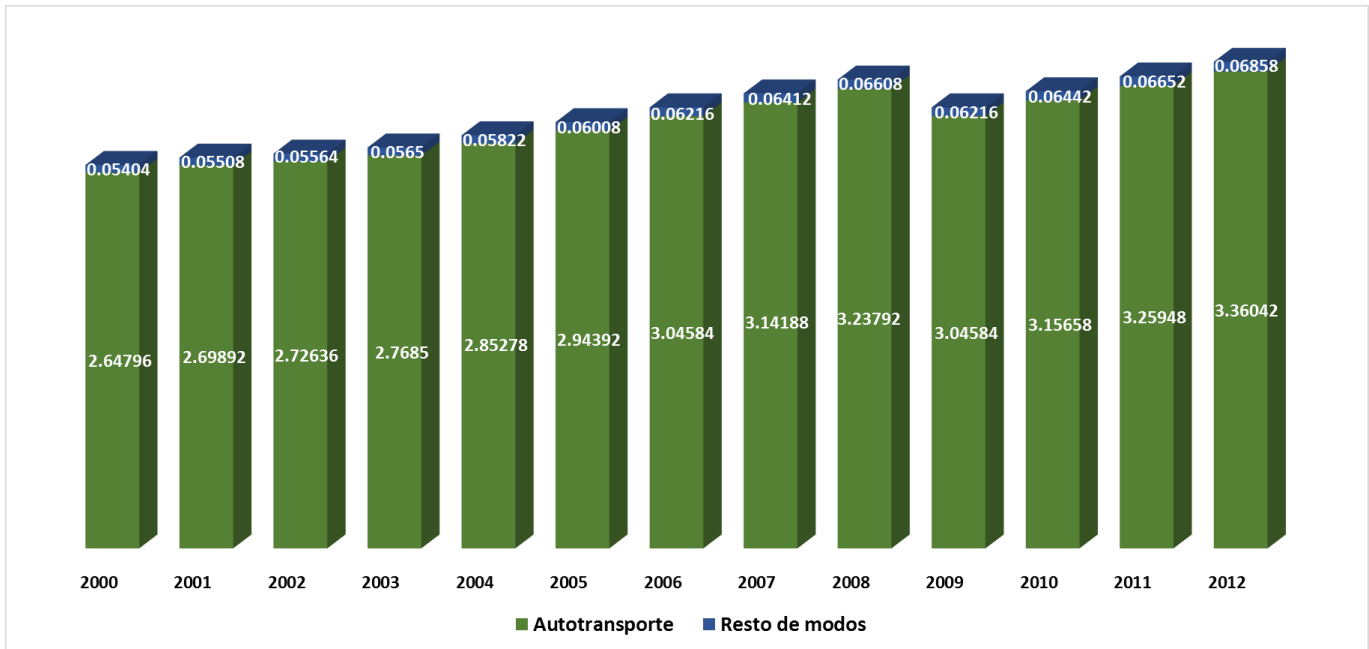
## 1.1. Planteamiento del problema y motivación

Una red de carreteras adecuada potencia la capacidad productiva del país (movimiento de cargas), abre nuevas oportunidades de desarrollo para la población (movimiento de pasajeros) (Ver Gráfica 1 y Gráfica 2) y posibilita la conectividad del país (Ver Figura 1); haciendo de las carreteras uno de los activos públicos más importantes.



Gráfica 1. Movimiento de cargas en México (2000-2012).

FUENTE: Programa Sectorial Comunicaciones y Transportes (2013-2018).



Gráfica 2. Movimiento de personas en México (2000-2012).

FUENTE: Programa Sectorial Comunicaciones y Transportes (2013-2018).

CORREDORES TRONCALES DE LA RED CARRETERA



Figura 1. Conectividad del país

FUENTE: Anuario Estadístico Secretaría de Comunicaciones y transportes, 2013.

La infraestructura carretera moviliza la mayor parte de la carga (55% del total) y de las personas (98% del total) que transitan el país. Para atender esta demanda en la Figura 2 se muestra la composición de la red carretera, la cual cuenta con 377,660 km de longitud, dividida entre red federal (49,652 km), carreteras alimentadoras estatales (83,982 km), la red rural (169,429 km) y brechas mejoradas (74,596 km).

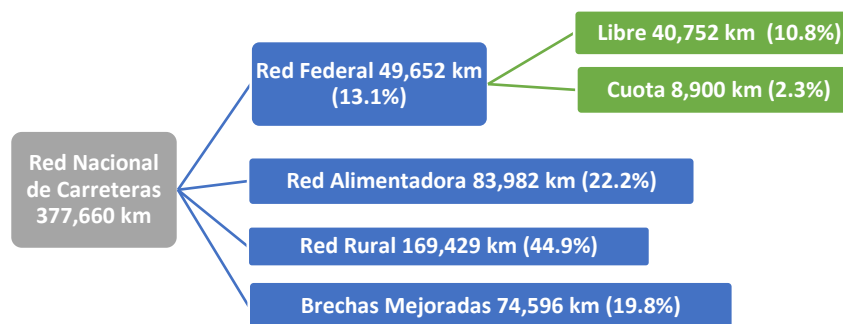
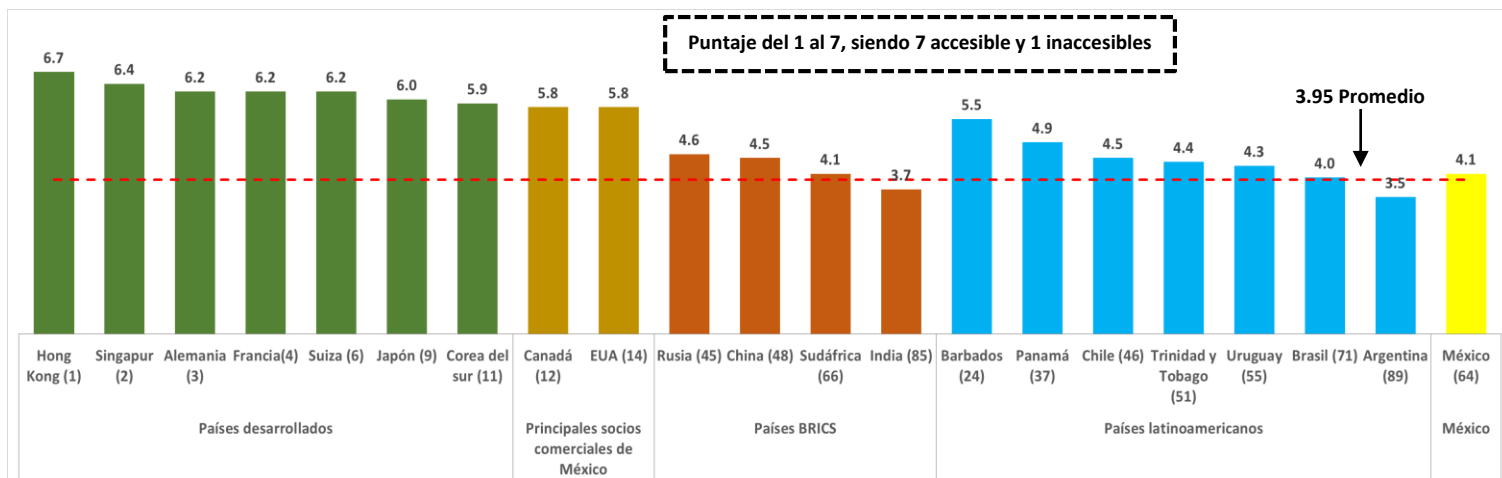


Figura 2. Red nacional de carreteras

FUENTE: Secretaría de Comunicaciones de Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, 2012.

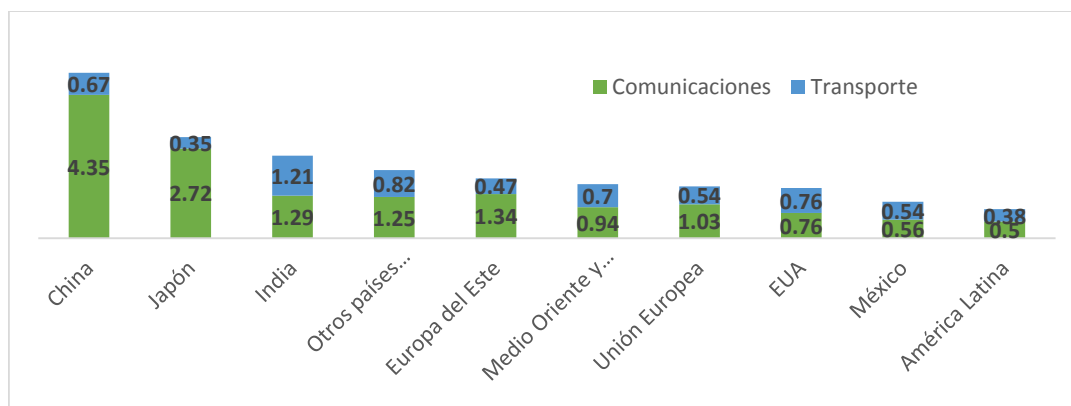
El Índice de Competitividad de Infraestructura (2013-2014) del Foro Económico Mundial, sitúa a México en el lugar 64 hasta el 2013 (Ver Gráfica 3). En éste mismo, México ocupa el lugar 51 de 148 países en carreteras.



Gráfica 3. Índice de competitividad de la infraestructura.

FUENTE: Foro Económico Mundial.

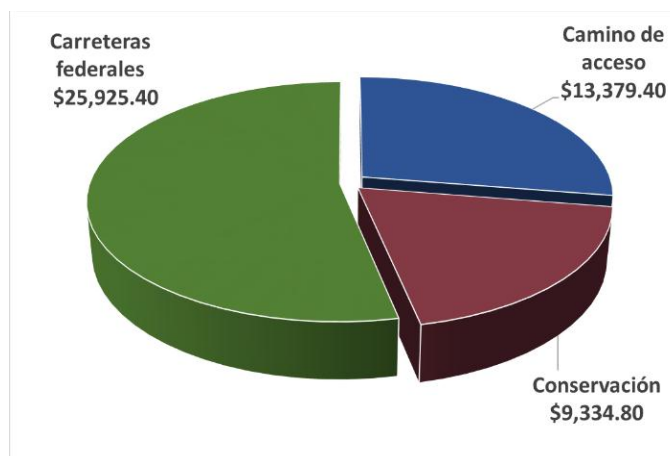
En el periodo 1992-2011, México invirtió en promedio el 1.10% del PIB nacional anual en infraestructura de comunicaciones y transportes, situándose así por debajo de la media de países como EUA (1.52% del PIB) y China (5.02% del PIB) (Ver Gráfica 4).



Gráfica 4. Inversión en comunicaciones y transportes

**FUENTE:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, Foro Internacional del Transporte, IHS Global Insight, McKinsey & Company.

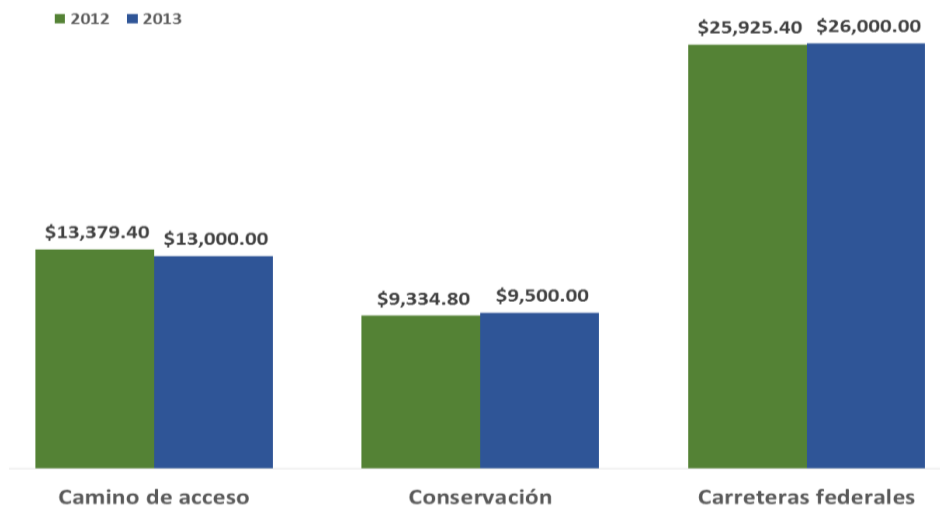
Enfocándonos en el sector autotransporte, en el 2012 la inversión destinada a cada área que conforma la red federal de carreteras se refleja en la Gráfica 5 y en la Gráfica 6 se observa la comparación entre las inversiones del 2012 y 2013 de cada una.



**\*Nota:** Los montos están en millones de pesos

Gráfica 5. Inversión en áreas de la red federal.

**FUENTE:** AMAAC.



Gráfica 6. Comparación entre inversiones de 2012 y 2013 para cada área

FUENTE: AMAAC.

En la figura anterior se percibe que en el área de conservación se invierte la menor cantidad del presupuesto anual, ya que se da mayor importancia a la construcción de caminos nuevos, lo cual resulta algo perjudicial porque la vulnerabilidad de los caminos existentes aumenta y su nivel de desempeño cae; por lo tanto, su estado pasa a ser malo y se generan grandes gastos para la sociedad. En la siguiente Gráfica 7, se aprecia la evolución de la inversión destinada al área de conservación.



Gráfica 7. Inversión de conservación del año 2007

FUENTE: AMAAC.

Analizando la Gráfica 7 se observa que desde el año 2007 al 2011, la inversión en conservación tuvo un incremento, así como del año 2012 al 2013. Es importante mencionar que este crecimiento es aparente, a causa de que no se contemplan otros factores que hacen que esta inversión no sea la suficiente para tener una calidad de servicio adecuada; lo ideal es que esta sea oportuna, suficiente y estable.

Con lo antes expuesto, resulta una obligación que la proporción del presupuesto nacional asignado a la conservación de las carreteras aumente, y con ello, la responsabilidad de administrarlo de manera eficaz, honesta y oportuna.

Ya que se vio la relevancia que tiene el factor económico en el sector de autotransporte, es indispensable conocer los costos de construcción, de mantenimiento y de operación, los cuales están relacionados con el estado del camino. Los costos generados a los usuarios son un parámetro de gran controversia, estos se reflejan directamente en los costos de operación, los cuales se muestran a continuación:

1. Costos por accidente (Ver Figura 3 y Tabla 1).
2. Costo del tiempo del viaje.
3. Costo de operación del vehículo (Ver Gráfica 8).

Tabla 1. Causas de accidentes atribuibles a la carretera.

Entidad		Pavimento mojado	Desperfectos	Irrupción de ganado	Obras en el camino	Objetos en el camino	Pavimento resbaloso	Falta de señales	Otros	Total del camino
Michoacán	Cantidad	75	2	15	0	7	0	1	0	100
	%	75	2	15	0	7	0	1	0	100

Fuente: Anuario estadístico de accidentes 2012

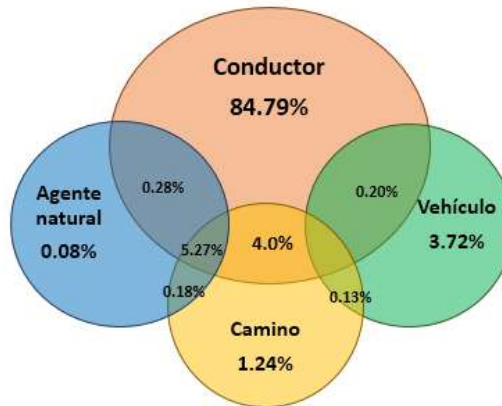
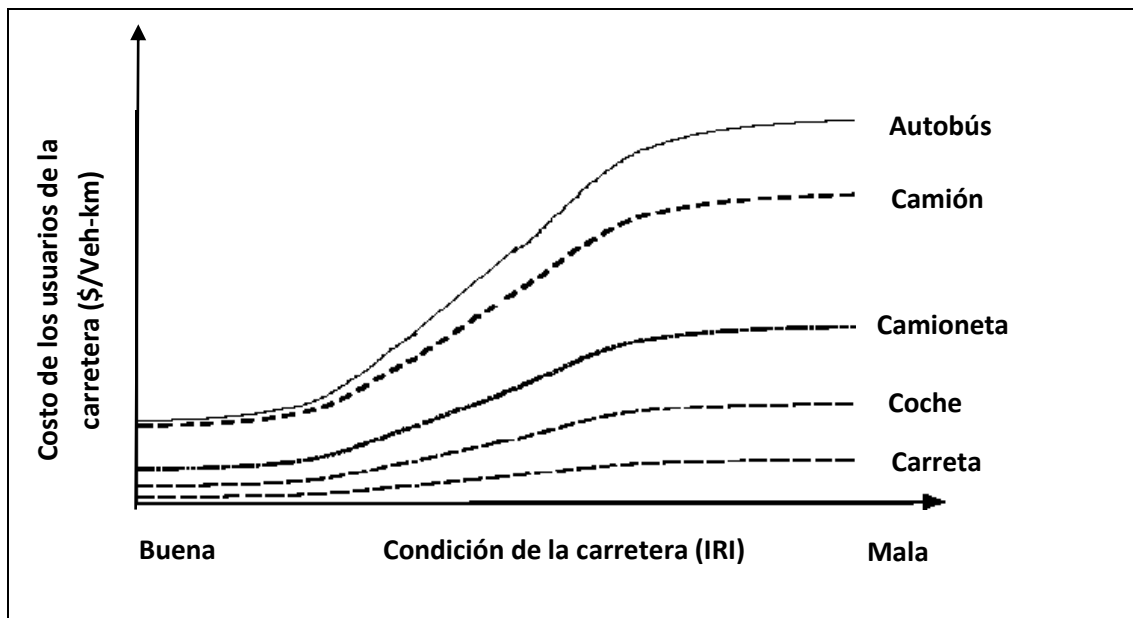


Figura 3. Causas de accidentes.

Fuente: Anuario estadístico de accidentes 2012



Gráfica 8. Efecto de las carreteras sobre los costos de operación.

FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management. Volume One: Overview of HDM-4.

Analizando la Tabla 1, se observa que en Michoacán las principales causas de accidentes atribuidas al camino son el pavimento mojado, irrupción de ganado y objetos en el camino.

Haciendo referencia al pavimento mojado, el agua se llega a estancar en la superficie de rodadura debido a que esta presenta fallas como deformación permanente y textura inadecuada, con esto se hace énfasis en la importancia de tener en buenas condiciones el camino.

En pocas palabras, el incremento en los gastos hacia los usuarios y la dificultad de obtener recursos económicos para ejecutar las acciones de conservación requeridas, reflejan la gran problemática que se tiene para mantener nuestras carreteras en un nivel de servicio adecuado.

El tener el pavimento en buen estado favorece:

- \*La posibilidad de circular a velocidad con confort y seguridad, reduciendo tiempos de recorrido y accidentes.
- \*El ahorro de costos de operación.

Existen diez mensajes importantes sobre la importancia de la conservación vial (De Buen Richkarday, 2015):

1. Las carreteras y el transporte carretero son fundamentales para las actividades económicas y sociales de los países.
2. Las carreteras son los activos públicos más valiosos en todos los países.
3. En el sector transporte, las inversiones más rentables son las destinadas a conservación de carreteras.
4. La conservación vial requiere fondos suficientes, estables y oportunos para ahorrar importantes costos a futuro.
5. El estado físico de los caminos influye directamente en los costos de operación de los vehículos que los utilizan.
6. Las inversiones en conservación generan importantes beneficios difíciles de expresar en términos económicos.
7. Una buena conservación preventiva reduce la vulnerabilidad de los caminos ante fenómenos naturales debidos al cambio climático.

8. El público empieza a valorar más el disponer de carreteras en buen estado que contar con carreteras nuevas.
9. Los programas de conservación requieren una sólida planificación y una buena gestión de riesgos.
10. Los nuevos procedimientos de contratación de la conservación vial deben generar valor para la sociedad.

Para tener el camino en buen estado y solventar los problemas que presenta la red, es necesario aplicar las medidas preventivas y correctivas adecuadas, por lo que se requiere implementar el uso de los sistemas de gestión de conservación y usar las herramientas tecnológicas que actualmente existen para agilizar el proceso.

Actualmente, la metodología HDM-4 es una herramienta muy útil, ya que cumple con la mayor parte de las funciones de un sistema de gestión y ejecuta el análisis las necesidades técnicas y económicas que exige conservación de las carreteras,

## **1.2. Objetivo general**

Definir integralmente las alternativas de conservación con base a los resultados obtenidos del uso de la metodología HDM-4, en los tramos carreteros que comprende el CPCC de la región de Zamora.

## **1.3. Objetivos particulares**

- 1.- Revisar la información existente relacionada con la conservación de carreteras, sistemas de gestión y metodología HDM-4.
- 2.- Revisar los tramos del CPCC de la región Zamora.
- 3.- Analizar los datos del 2011 de los tramos que comprende el CPCC de la región Zamora:
  - 3.1.- Características de los tramos, tanto de su estructura como su geometría.
  - 3.2.- Tránsito.

- 3.3.- Clima
- 3.4.- Evolución de índices.
- 3.5.- Deterioros.
- 3.6.- Trabajos de conservación realizados.
- 3.7.- Inversiones.

4.- Aplicar el HDM-4 en los tramos en estudio.

5.- Reflejar la posibilidad del uso de la herramienta de análisis de estrategia para evaluar proyectos basados en estándares de desempeño bajo esquemas de asociaciones público-privadas (APP).

6.- Obtener el programa de conservación con las alternativas adecuadas y hacer la comparativa entre los resultados conseguidos en este trabajo y los presentados por los contratistas a la Secretaria de Comunicaciones y Transportes.

#### **1.4. Justificación**

Los principales problemas que afectan el buen mantenimiento de pavimentos son los siguientes:

1. Deficiencias en los procesos de planeación y programación de la conservación.
2. Falta de recursos suficientes y oportunos.
3. Empleo de materiales inadecuados y de baja calidad.
4. Utilización de procesos constructivos obsoletos
5. Ejecución de los trabajos en tiempo de lluvias o cuando el pavimento está muy de deteriorado.

En la actualidad, la forma en que como se toman las decisiones acerca de qué estrategia elegir para la conservación de las carreteras, no se ha sido la más adecuada; ya que en ciertas ocasiones las estrategias utilizadas o seleccionadas, no son las indicadas para la corrección de las fallas que se presentan en el camino.

El tener una red carretera con un estado superficial deficiente, hace que se generen costos elevados que inciden directamente en el usuario. Con esto nos damos cuenta de que el estado superficial de las carreteras es de gran influencia económica, aunado a que estas son parte fundamental de la infraestructura del país.

La falta de un planteamiento más integro en lo que se refiere a los aspectos tanto técnicos y económicos de cada alternativa y la falta de compromiso para la obtención de recursos financieras, son de los grandes problemas por los cuales el modelo de contratación CPCC no ha cumplido con los resultados esperados.

Para la elección de una buena estrategia de conservación, es recomendable el uso de un sistema de gestión, ya que éste hace que las variables técnicas y económicas trabajen en un mismo sistema para encontrar dicha estrategia, además estos representan un alto nivel de organización en proceso de conservación de las carreteras.

La utilización del HDM-4 se justifica por las siguientes razones:

- 1.-La aparición de nuevas condiciones tanto en materia económica como técnica y la necesidad de incluir más factores que antes no se tomaban en cuenta (climáticos, medioambientales, seguridad vial, efecto de congestión de tráfico, etc.)
- 2.-La necesidad de jerarquizar las inversiones en proyectos carreteros, realizando una optimización en los recursos disponibles y previendo la influencia de las condiciones futuras en su estado
- 3.-Desarrollar una visión más amplia de la gestión de carreteras considerando funciones como: planificación, programación, preparación y operación.

4.- El HDM-4 provee los modelos para estimar el deterioro de las carreteras en el tiempo y los costos de los usuarios, estos son parte fundamental en el análisis costos totales del ciclo de vida y beneficio/costo.

## 1.5. Hipótesis

Con una adecuada base de datos y definición de cada uno de los parámetros que se ingresan al HDM-4, se tendrán alternativas de conservación efectivas para lograr un adecuado nivel de desempeño de los tramos en estudio, y a la par llevar una correcta administración de recursos destinados a la conservación de estos mismos.

## 1.6. Población

El estudio se centra en los tramos carreteras del CPCC en el estado de Michoacán.

## 1.7. Muestra

Los tramos del CPCC con los que se trabajará son los comprendidos en la región de Zamora, estos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Tramos carreteros del CPCC de la región Zamora

RUTA	CARRETERA	TRAMO	DEL KM	AL KM	LONGITUD EFECTIVA
15	MORELIA-GUADALAJARA	Zacapu-Carapan	80+000	109+300	29.3 km.
15	MORELIA-GUADALAJARA	Carapan-Zamora	109+300	141+400	32.1 km.
15	MORELIA-GUADALAJARA	Zamora-Jiquilpan	152+000	201+300	49.3 km.
15	MORELIA-GUADALAJARA	Lib. Norte de Zamora.	0+000	14+700	14.7 km
35 y 110	ZAMORA-GUADALAJARA	Zamora-Briseñas	5+200	55+900	47.7 km
				<b>Total:</b>	<b>173.1 km</b>

FUENTE: Dirección General de Conservación de Carreteras.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Conservación de carreteras

Ya que las carreteras quedan expuestas al ataque permanente de los agentes naturales y el efecto de las cargas que circulan por ella; es necesario someterlas a una vigilancia continua y concederles especial atención, a fin de que estas estén en mejores condiciones de servicio, a esto le damos el nombre de **conservación**.

De igual manera, la conservación es la acción de cuidar que la aptitud de servicio del pavimento se prolongue durante el tiempo requerido, lo cual implica la preocupación de los encargados y el desembolso de recursos (Solminihaç Tampier, 2001).

Los objetivos de la conservación son los siguientes:

- 1.- Preservar el patrimonio carretero nacional.
- 2.- Proporcionar condiciones de seguridad y comodidad para el usuario.
- 3.- Facilitar el intercambio de bienes y servicios entre regiones.

Para cumplir con los objetivos mencionados, se requiere llevar a cabo labores de conservación, a continuación estos son enunciados:

- 1.- Mantenimientos de la superficie de rodadura.
- 2.- Limpieza y reposición de acotamientos.
- 3.- Desazolve y reparación de obras de drenaje.
- 4.- Recargues y estabilización de taludes.
- 5.- Limpieza de zonas laterales.
- 6.- Señalamiento.

Existen distintos tipos de conservación, los cuales son:

**1.- Rutinaria**

Trabajos rutinarios y sistemáticos para mantener en buenas condiciones y con las mismas características, todas las partes y elementos estructurales (superficie de rodadura, acotamientos, drenaje, taludes, zonas laterales y señalamiento).

**2.- Periódica**

Conjunto de trabajos de espera efectuados con cierta frecuencia o periodicidad, de 2 a 7 años para mantener el estado físico adecuado de la superficie de rodadura.

**3.- Rehabilitación o reconstrucción**

Reponer totalmente o en algunas partes, un tramo de carretera, sin alterar especificaciones geométricas o estructurales.

**4.- Mejoramiento o modernización**

Se modifican las características geométricas y estructurales del camino (pavimentos y puentes) para aumentar la calidad de servicio y resolver distintos problemas (incremento en volumen de tránsito y cargas vehiculares).

Las carreteras se deterioran normalmente por los siguientes factores:

- 1.- Cargas del tránsito
- 2.- Aspectos climatológicos (temperatura y humedad)
- 3.- Sistema de drenaje inadecuado
- 4.- Historial de reparaciones del pavimento
- 5- Geometría
- 6.- Diseño estructural

La evaluación de la calidad del estado físico del camino y sus complementos, es de las partes más importantes para tener una mejor administración de la conservación. Esta evaluación se basa principalmente en la calificación del estado superficial y en la medición de deflexiones que caractericen la capacidad estructural. Existen dos características que se toman en cuenta para el desempeño de un pavimento (Fonseca Rodríguez, (s.f.)):

### **1.- Condición funcional**

Funcionalmente el pavimento debe proporcionar al usuario un espacio seguro, cómodo y uniforme para transitar. Se centra en la valoración de irregularidades superficiales.

### **2.- Condición estructural**

Estructuralmente el pavimento y sus capas deben de proteger las terracerías de la acción de agentes climáticos, resistir las cargas de los vehículos y transmitir las a las capas inferiores.

Existen dos procedimientos para medir las condiciones anteriormente mencionadas:

### **1.- Rutinario**

Consiste en asignar puntajes de calificación a los diferentes elementos del camino, incluyendo señalamiento y estructuras, de manera cualitativa. Involucra aspectos sencillos de analizar de forma visual o manual, o bien con equipos sencillos o prácticos.

### **2.- Alto rendimiento**

Se hace énfasis en la determinación de la capacidad estructural de la sección, su vida remanente, causas de falla y la posibilidad de abandonar el tramo, adecuarlo o aceptarlo en las condiciones en las que se encuentre. Esto hace que el procedimiento adquiera un carácter meramente cuantitativo.

Dentro de la conservación es de gran relevancia definir la condición física del pavimento, a continuación se presentan algunos índices y parámetros que definen dicha condición:

### 1.- Índice de servicio actual (ISA)

Consiste en calificar, con ayuda de evaluadores, el grado de confort y seguridad que el usuario percibe al transitar por un camino a la velocidad de operación (Mendoza Díaz, Abarca Pérez, & Saucedo Rojas, 2011).

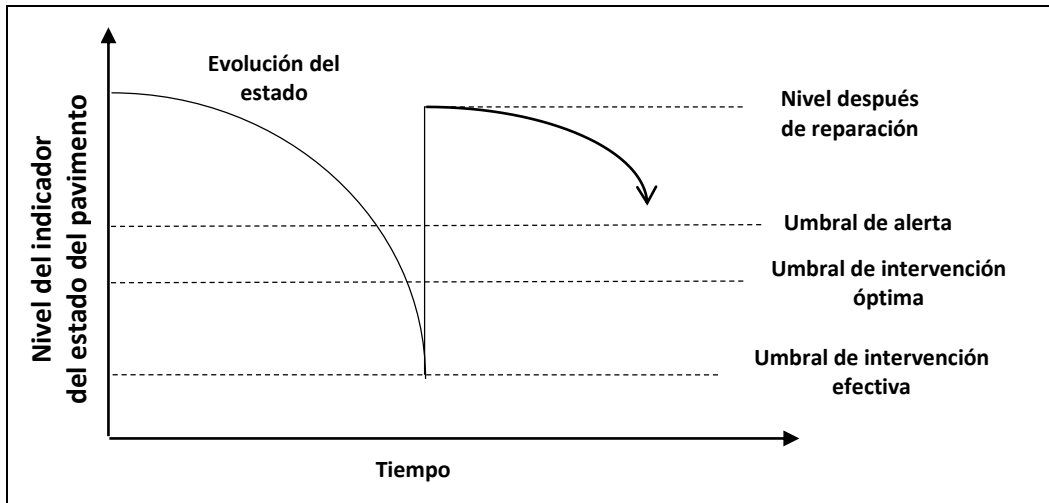
Cada evaluador califica de manera subjetiva en una escala de 0 a 5 de cada uno de los elementos de la carretera (Ver Tabla 3): corona (deformaciones, grietas, fisuras, asentamientos), drenaje (alcantarillas, cunetas, contracunetas, lavaderos, bordillos, pendiente transversal), derecho de vía (riesgo de su utilización, abundancia de la vegetación, estado de las zonas laterales, los cercados) y señalamiento (por ausencia, por ser ilegibles, por estar maltratados o por no cumplir con las especificaciones indicadas).

Tabla 3. Calificación de ISA.

Rango	Calificación
5	Excelente
4-5	Muy buena
3 - 4	Buena
2 - 3	Regular
1 - 2	Malo
0 - 1	Muy malo
0	Intransitable

FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte

En la Gráfica 9 se observa la evolución de ISA en el tiempo.



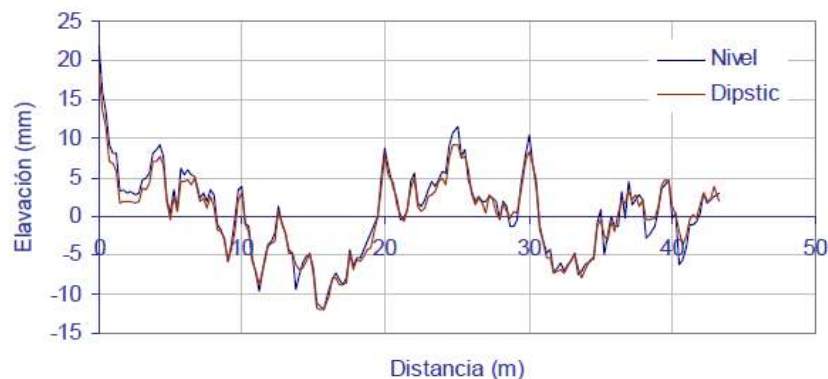
Gráfica 9. Gráfica ISA-Tiempo.

FUENTE: Pontificia Universidad Católica de Chile.

## 2.- Índice de perfil (IP)

Se define como la medida en cm/Km de las irregularidades superficiales del pavimento (Ver Gráfica 10) y determina la calidad del acabado en la superficie de rodadura durante la construcción.

Los equipos con los que se mide el IP son el Perfilómetro tipo California, el nivel y estatal y el Dipstick.



Gráfica 10. Gráfica de IP

FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte.

En la Tabla 4 se observan los valores de IP que pueden generar un estímulo o sanción (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, N-CTR-CAR-1-04-006/14, 2014).

Tabla 4. Valores de IP.

Índice de perfil (cm/km)	Factores de estímulo o sanción	
10.0 o menos	Estímulo	+0.05
10.1 a 14.0		+0.04
14.1 a 18.0		+0.03
18.1 a 22.0		+0.02
22.1 a 26.0		+0.01
26.1 a 31.0	0	
31.1 a 34.0	Sanción	-0.02
34.1 a 37.0		-0.04
37.1 a 40.0		-0.06
40.1 a 43.0		-0.08
43.1 a 46.0		-0.10
Mayor de 46.0	CORREGIR	

FUENTE: Normatividad SCT

### 3.- Índice de regularidad internacional (IRI)

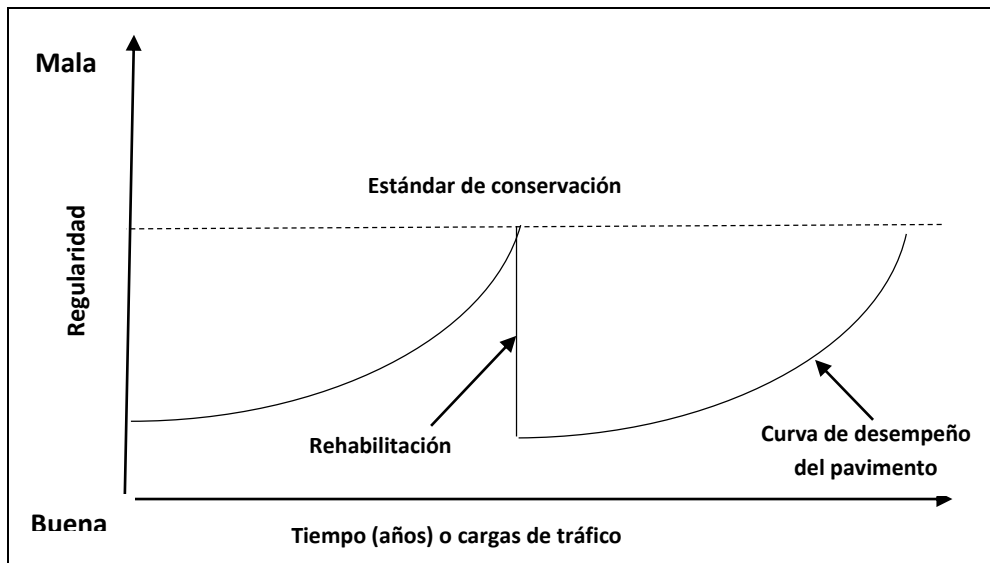
Es utilizado para medir la irregularidad de un pavimento, esta irregularidad se refiere a la imperfección de la superficie de rodadura, la cual incide en la velocidad, costos de operación vehicular, seguridad vial y la comodidad de los usuarios (Solorio Murillo, Hernández Domínguez, & Gómez López, 2004). La unidad del IRI está en m/km.

El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento, representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico y el perfil longitudinal real al momento de hacer la medida (Solminihac Tampier, 2001).

También se podría decir que el IRI es la sumatoria en valor absoluto de los desplazamientos verticales para un intervalo de distancia dividido por la longitud del intervalo (Córdova Alanis, 2005).

Los valores del IRI van del 0 al 12 m/km, en donde el 0 es una superficie totalmente uniforme y el 12 es un camino intransitable. Los valores comunes de IRI están entre 3 y 6 m/km. Para medir el IRI se utiliza el Perfilógrafo laser de alta capacidad.

En la Gráfica 11, se observa cómo cambia el valor del IRI conforme pasa el tiempo.



Gráfica 11. Gráfica IRI-Tiempo.

FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management. Volume One: Overview of HDM-4.

En la Figura 4 se muestra la escala de IRI según el uso y condición del pavimento a la que se encuentra sujeto.

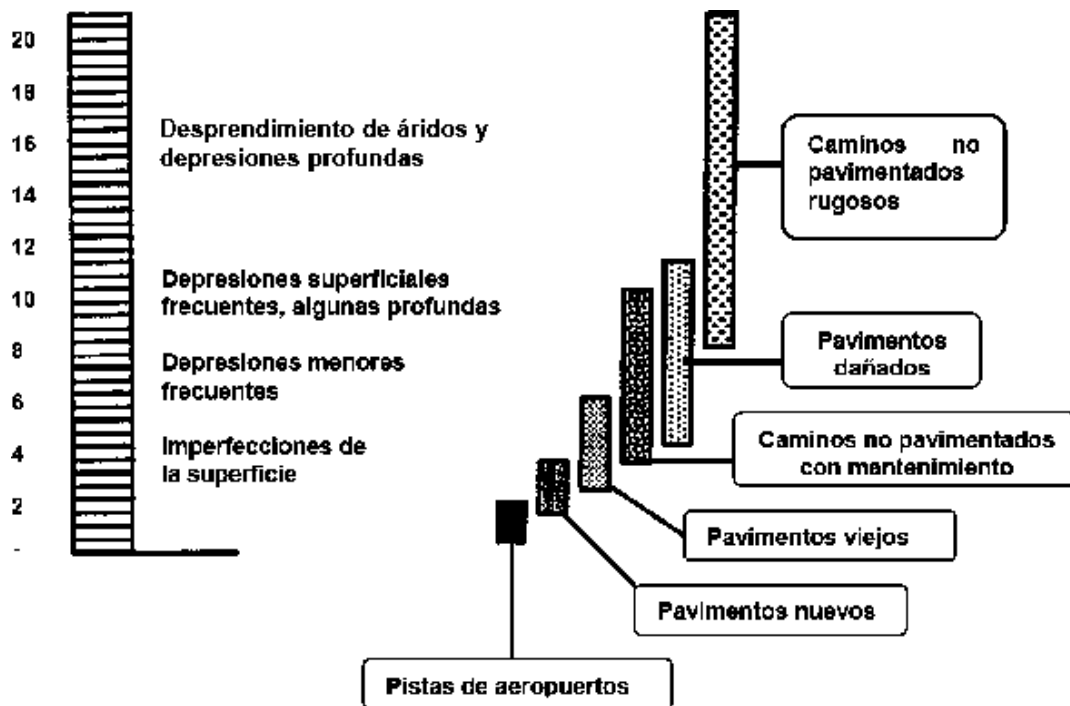


Figura 4. Escala de IRI.

FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte

Además de medir la irregularidad del pavimento, el IRI constituye un indicador de su condición global, ya que refleja tanto defectos en la superficie de rodadura como deformaciones permanentes de la estructura en conjunto (Solorio Murillo, et al., 2004).

El IRI pasó a ser el principal resultado de referencia para evaluar las inversiones en proyectos carreteros y los modelos de deterioro para pavimentos asfálticos del HDM-4 (Ver Figura 5).

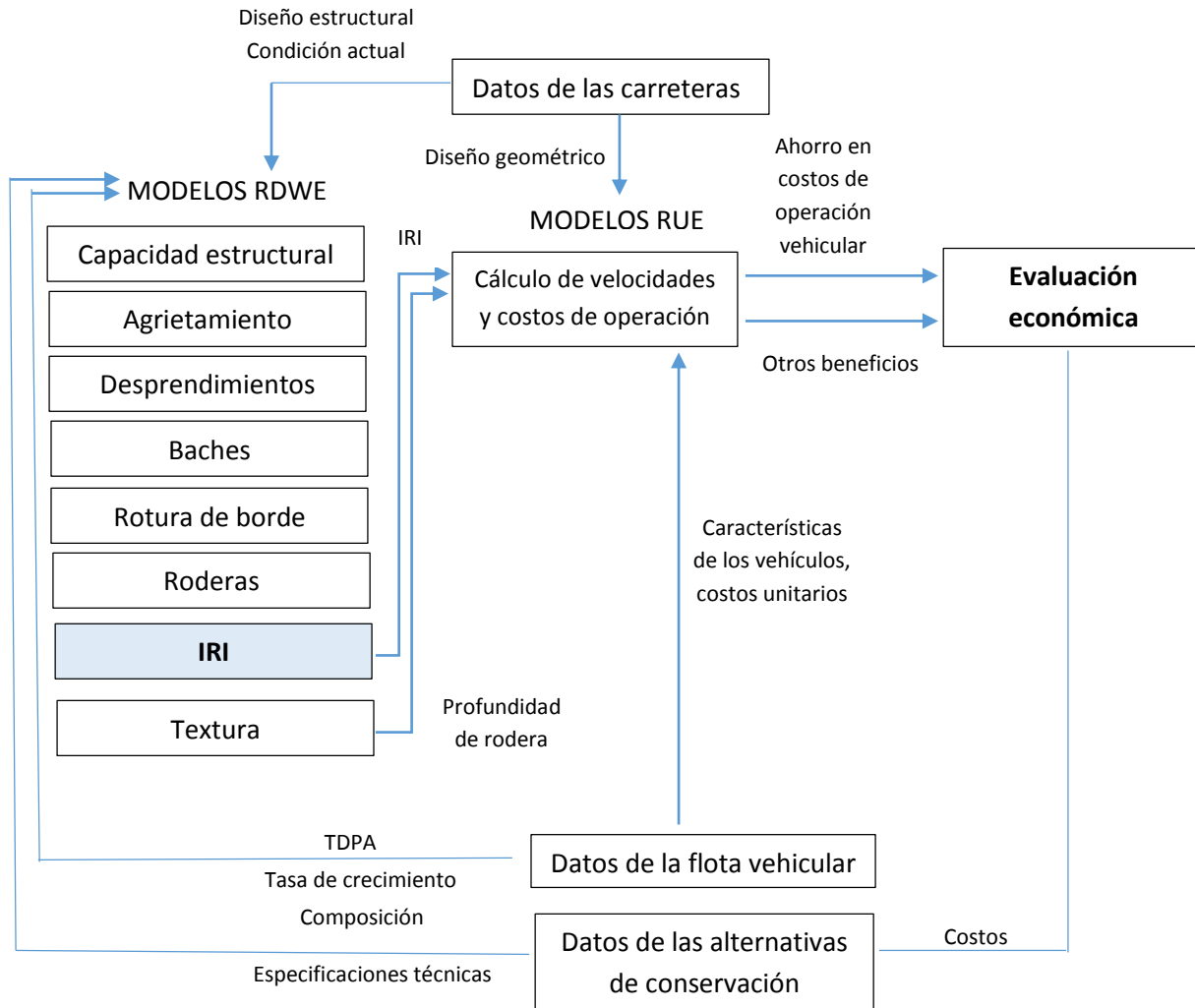


Figura 5. Importancia de IRI dentro del esquema de análisis del HDM-4.

FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte

#### 4.- Índice de fricción internacional (IFI).

Es determinado por la fricción ( $F_{60}$ , adimensional) y textura ( $S_p$ , en km/h) (Ver Gráfica 12).

El valor de 0 de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor de 1, adherencia.

La textura determina la magnitud de las fuerzas laterales y longitudinales que definen la interacción de los vehículos con el pavimento.

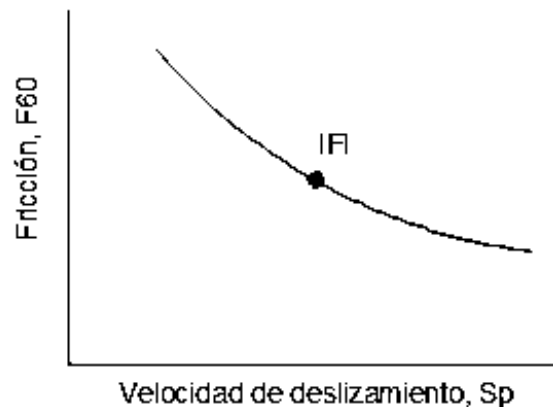
A continuación se analizan los tipos de textura (Fonseca Rodríguez, (s.f.):

**\*Microtextura**

- Determina la máxima resistencia al deslizamiento que proporciona un pavimento seco.
- Se miden irregularidades superficiales del pavimento que dependen de la mineralogía del pétreo.
- Se mide mediante el uso del MuMeter y péndulo de fricción.

**\*Macrotextura**

- Caracteriza la capacidad drenante de la superficie del pavimento.
- Se miden irregularidades superficiales del pavimento que dependen de la granulometría del pétreo.
- Se mide mediante el círculo de arena.



Gráfica 12. Gráfica de IFI.

**FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte.**

En la Figura 6 se visualizan de mejor manera los tipos de textura.

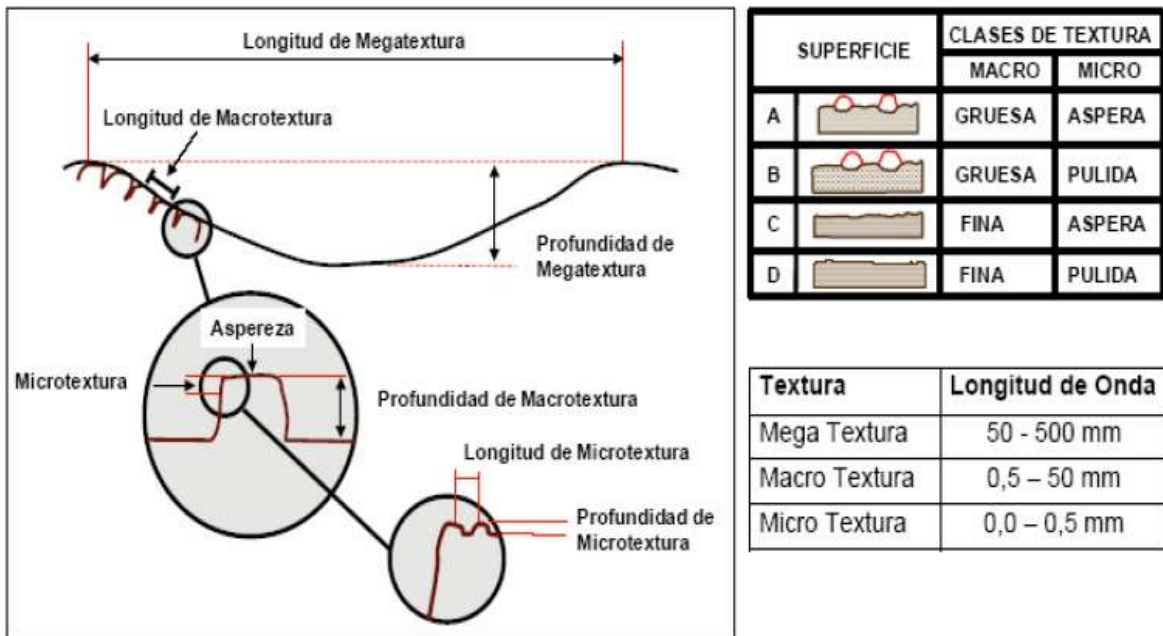


Figura 6. Tipos de textura

FUENTE: AMIVTAC.

### 5.- Nivel de servicio.

Es una medida cualitativa del efecto de una serie de factores que influyen en el flujo vehicular (velocidad, tiempo de recorrido, interrupciones al movimiento continuo del tránsito, libertad de manejo, comodidad y costos de operación) (Mendoza Díaz, Abarca Pérez, & Saucedo Rojas, 2011)

Para conocer la capacidad y los niveles de servicio se consideran las condiciones establecidas por las características físicas del camino y las condiciones dependientes de la magnitud y tipo de vehículos.

En función del nivel de servicio estará el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la carretera o calle, denominado flujo de servicio (Obregón Biosca, 2009).

Se manejan 6 niveles de servicio, del A al F, para identificar las condiciones de operación de un camino, el calidad de servicio “A” es el mejor y el calidad de servicio “F” es el más inconveniente (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Niveles de servicio

N. Serv.	Capacidad de operación.	Velocidad de operación.	Restricción de maniobra.	Tránsito.
N. Serv. A	Libre	Alta	Poca o ninguna	Sin restricciones
N. Serv. B	Estable	Ligeramente restringida	Ligeramente restringida	Sin apreciable congestión
N. Serv. C	Estable	Ligeramente restringida (+ que ant.)	Ligeramente restringida (+ que ant.)	Ligera congestión
N. Serv. D	Próxima a la inestabilidad	Restringida	Reducida	Medianamente congestionada
N. Serv. E	Inestable	Bajas. (40 – 60 km/h)	Casi nula	Fuertemente congestionada
N. Serv. F	Forzada	Reducida en caso extremo	Nula	Congestión total

FUENTE: Universidad Autónoma de Querétaro.

## 6.- Capacidad estructural (CE).

La capacidad estructural del pavimento se caracteriza por distintas variables como las deflexiones medidas, espesores de capa, tipos de materiales y rigidez de la sub-rasante; en concreto, la resistencia del pavimento está definida por el número estructural (SN). En la Gráfica 13 se observa la variación de dicho parámetro con la aplicación de carga.

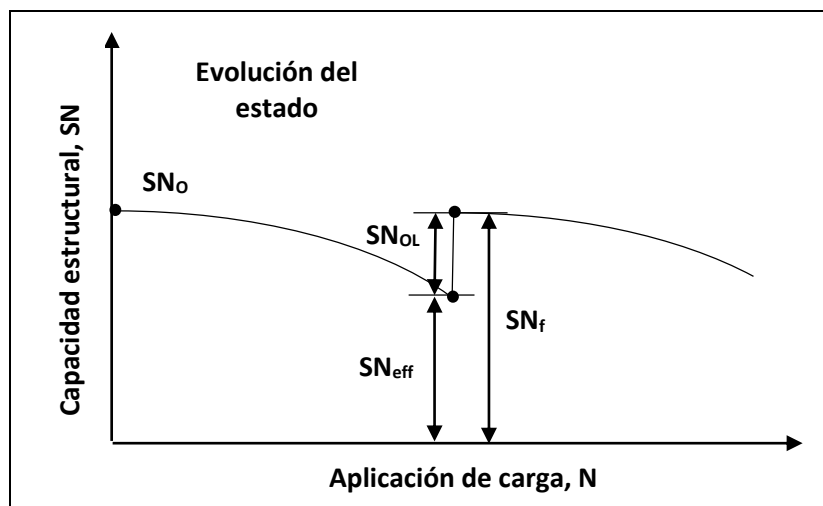
Las condiciones climáticas y el estado del drenaje son de los factores más importantes que influyen en la determinación del número estructural.

Conocidos los coeficientes estructurales (a), espesores (D) y coeficientes de drenaje (m) de cada capa, se puede calcular el número estructural.

El número estructural constituye uno de los factores con mayor influencia en la predicción del IRI, ya que modela la capacidad del pavimento para resistir las cargas del tránsito; en otras palabras, representa una medida de la susceptibilidad de la superficie de rodadura a los deterioros provocados por la deformación de las capas inferiores (Solorio Murillo, et al., 2004).

Equipos para medir la capacidad estructural:

- Viga Benkelman
- HWD (Heavy Weight Deflectometer).
- Curviómetro.
- HVS (Heavy Vehicule Simulator).
- LWD (Low Weight Deflectometer)
- Geogage



Gráfica 13. Gráfica de SN-N.

FUENTE: Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey.

## **2.2. Gestión de pavimentos**

(Solorio Murillo, et al., 2004) cita a (AASHTO, 1993), el cual indica que la gestión de pavimentos es una disciplina que engloba actividades involucradas en la planeación, diseño, construcción, evaluación y conservación de los pavimentos.

La gestión de pavimentos es un conjunto de operaciones que se ejecutan con el propósito de mantener, por determinado tiempo, las condiciones que implica la operación de vehículos con una calidad de servicio dada, minimizando los costos económicos, sociales y ambientales involucrados (Solminihac Tampier, 2001).

La gestión de pavimentos es una disciplina compleja que incluye las siguientes actividades:

- 1.- Análisis de necesidades del usuario.
- 2.- Definición de objetivos y metas.
- 3.- Diagnóstico del estado actual del pavimento.
- 4.- Análisis de estrategias a largo plazo para mantener una calidad de servicio adecuado.
- 5.- Rentabilidad económica.
- 6.- Formulación y optimización de programas anuales influenciados a restricciones presupuestales.
- 7.- Verificación del cumplimiento de las acciones de conservación.
- 8.- Seguimiento de la condición del pavimento con el tiempo.

Todas estas actividades al final se pueden agrupar en 4 funciones (Kerali, Odoki, & Stannard, 2006):

### **1.-Planeación**

Análisis de sistema de carreteras completo, requiere de la preparación de presupuestos de mediano a largo plazo, bajo diferentes supuestos económicos y presupuestales.

El sistema físico de carreteras se define de la siguiente manera:

- \*Características de la flota vehicular que circula por la red.
- \*Características de la red.
- \*Longitud de carretera en cada categoría.

Los resultados de esta parte son de interés para altos funcionarios o encargados de formular políticas.

## **2.-Programación**

Involucra la preparación de programas plurianuales de trabajos y gasto, sujetos a restricciones presupuestales, en los que se identifican y analizan tramos de la red que ocupen conservación, mejora o construcción nueva.

Se recomienda realizar un análisis costo-beneficio para determinar la viabilidad económica de los trabajos.

La red de carreteras se evalúa ruta por ruta, dividiendo cada una en tramos homogéneos, en función de sus características físicas.

Organiza los trabajos por nivel de prioridad para aprovechar los recursos al máximo.

Los profesionales a nivel gerencial de una organización de carretera son los encargados de llevar a cabo actividades de programación

## **3.-Preparación**

Es una etapa de planeación a corto plazo en la que se agrupan los proyectos para su implementación. Aquí los diseños se preparan y afinan con más precisión.

Se formulan especificaciones y cotizaciones detalladas, además se puede realizar un análisis costo-beneficio para confirmar la viabilidad del esquema final.

Se presenta la opción de agrupar los trabajos en paquetes, lo cual favorece a la rentabilidad de la construcción.

Las actividades de preparación incluyen el diseño de:

- \*Un proyecto de sobrecarpeta
- \*Trabajos de mejora

Las tareas de la preparación están a cargo de profesionales de los niveles medio a subalterno y de técnicos.

#### **4.-Operación**

Las decisiones relacionadas con la gestión de operaciones se toman diaria o semanalmente, a la vez incluye la programación del trabajo que se planea realizar, la supervisión de la mano de obra, el equipo y los materiales, el registro del trabajo concluido, el seguimiento y control.

Las actividades se centran en tramos individuales o en subtramos de carreteras.

Las operaciones pueden estar a cargo del personal no profesional.

En la Tabla 6 se presenta un resumen de las cuatro funciones presentes en la gestión de carreteras.

Tabla 6. Proceso de gestión.

Función	Horizonte temporal	Personal responsable	Cobertura espacial	Detalle de los datos
Planeación	A largo plazo (estrategia)	Alta dirección y nivel de políticas	Toda la red	Muy general
Programación	Medio plazo (táctica)	Profesionales de nivel medio	Red o Subred	↓
Preparación	Año del presupuesto	Profesionales de menor nivel	Nivel de esquema/tramos	
Operaciones	Inmediato/muy corto plazo	Técnicos/subprofesionales	Fino/detallado	Interactivo

**FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management. Volume One: Overview of HDM-4.**

(Solorio Murillo J. , Hernández Domínguez, Montoya Ortega, & Cárdenas Rodríguez, 2013) citan a (U.S. Department of Transportation, 1999), el cual indica que la gestión de activos carreteros o gestión de patrimonio vial se refiere al proceso sistemático de conservación, actualización y operación de activos físicos de la carretera de manera rentable.

Todo esto se caracteriza principalmente por los siguientes aspectos (Solorio Murillo, et al., 2013):

- a) Planeación de largo y mediano plazo.
- b) Uso de información objetiva sobre la condición de los activos.
- c) Orientación de las acciones para satisfacer las necesidades de los usuarios.
- d) Uso eficiente de los recursos disponibles.
- e) Gestión integral de la infraestructura (tomar en cuenta los activos que participan y los problemas relacionados con la operación vehicular).
- f) Desarrollo institucional, referido a la aplicación efectiva del sistema de gestión y la disponibilidad de los recursos necesarios para su implementación.

### 2.3. Sistemas de gestión de pavimentos

Con base al significado anterior, los sistemas de gestión de pavimentos es conjunto de procedimientos y herramientas para asistir a las organizaciones operadoras de carreteras en la aplicación sistemática de ciertos procesos para darle solución a los daños en el camino y minimizar los costos económicos, sociales y ambientales que se generan a causa de las malas condiciones en las que se encuentra el camino, en otras palabras, para encontrar las alternativas técnica y económicamente adecuadas para mantener el camino en las condiciones adecuadas a corto y largo plazo al menor costo posible.

También un sistema de gestión de pavimentos, es el conjunto coordinado de recursos, herramientas, procesos y procedimientos, que funcionando en forma integrada, persiguen el óptimo desempeño de los pavimentos de una red vial (Salgado Torres, 2015).

En la Figura 7 se presenta de una forma gráfica los componentes de un sistema de gestión de pavimentos.



Figura 7. Componentes del sistema de gestión.

FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte.

A causa de que los pavimentos se encuentran bajo un continuo deterioro, es necesario hacer las revisiones necesarias para evitar que su condición decaiga. Lo anterior hace que la aplicación de los sistemas de gestión de pavimentos adquiera un carácter cíclico, que da lugar a lo que se conoce como **ciclo de gestión** (Dirección General de Servicios Técnicos, 2014), como se muestra en la Figura 8. Esta aplicación cíclica permite verificar el logro de los resultados esperados al cumplir con las actividades estipuladas, es decir, desempeñar las funciones de la gestión basándose en las necesidades que se tengan.

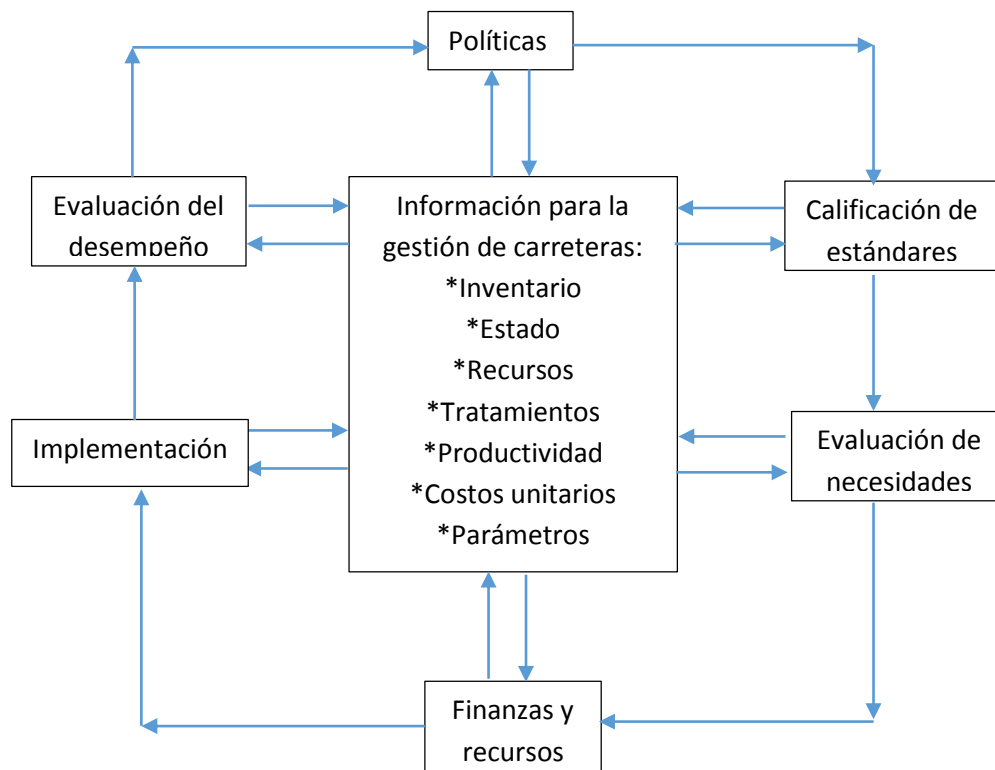


Figura 8. Ciclo de gestión.

**FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management. Volume One: Overview of HDM-4.**

Gracias a los sistemas de gestión de pavimentos se han logrado grandes avances, a continuación se mencionan los más significativos (Haas, Hudson, & Falls, 2011):

- 1.- Reconocimiento del valor del mantenimiento preventivo y la conservación periódica en la preservación de pavimentos.

- 2.- Grandes avances tecnológicos en equipos y procedimientos para la auscultación de pavimentos y adquisición de datos.
- 3.- Uso extendido del análisis del ciclo de vida en el diseño y gestión de pavimentos.
- 4.- Integración de la gestión de pavimentos como un componente fundamental de un sistema más amplio para la **gestión del patrimonio vial** a nivel de red y de proyecto.

Las etapas de un sistema de gestión son las siguientes (Dirección General de Servicios Técnicos, 2014) (Ver Figura 9):

### **1.- Definición de objetivos**

Esta etapa es la base, se dice esto porque si se llega a desarrollar de manera adecuada, existirá una reducción en tiempo y dinero. Para esto, se tiene que definir correctamente los estándares de conservación, con base a la importancia y urgencia de los trabajos.

### **2.- Recolección de datos**

Se define la información documental y de campo que se requiere para la operación del sistema. La base de un sistema son los datos necesarios para modelar el comportamiento de la infraestructura, los cuales son:

- \*Estudio del tránsito
- \*Estudio de medio ambiente
- \*Capacidad estructural
- \*Deflexiones
- \*IRI
- \*Rodera

### **3.- Análisis de datos**

Consiste en determinar la condición actual y el comportamiento a futuro de la infraestructura, mediante el uso de indicadores de desempeño.

#### **4.- Modelación de pavimentos**

Existe una variabilidad en las estructuras a causa de las diferentes características que presenta cada una; ante esto se debe dividir la red en sectores homogéneos, con el fin de utilizar los modelos de una manera ordenada y eficiente.

Se calculan y se agregan indicadores que reflejan la condición del pavimento y su evolución.

Se calculan costos de operación vehicular y otros costos de usuario.

Se determinan beneficios de las inversiones para la conservación a corto, mediano o largo plazo.

#### **5.- Toma de decisión**

Son reglas que se formulan en términos de indicadores a utilizar, tanto técnicos como económicos.

Según el tipo de análisis que se quiera realizar, la aplicación de los criterios de decisión da lugar a:

- \*La selección de una alternativa de proyecto
- \*La integración de un programa de obra para una red o subred
- \*La adopción de una política general a largo plazo

#### **6.- Implementación y alcances**

Son mecanismos para pasar de programas preliminares a la elaboración de proyectos ejecutivos y supervisión de obras.

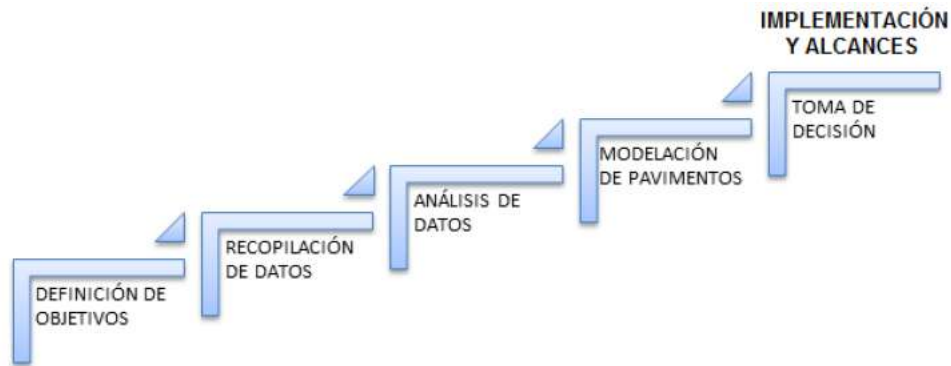


Figura 9. Etapas del sistema de gestión.

**FUENTE: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.**

La adopción de un sistema de gestión de pavimentos conlleva al entendimiento de sus componentes básicos (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2003):

### **1.- Sistema de referencia**

Se refiere a los métodos de localización y referencia espacial de los tramos de la red de carreteras, así como de la información sobre las características y el estado físico de los mismos.

### **2.- Información requerida por el sistema:**

- a) Inventario de la red (longitud, ancho, área, geometría de tramos; estructura del pavimento, tipo de capas, diseño estructural y espesores; historial de construcción y rehabilitación; historial de mantenimiento; drenaje; y clasificación funcional).
- b) Estado del pavimento (deterioros; regularidad, ISA; resistencia al deslizamiento, textura; resistencia, deflexiones; materiales y propiedades de capa; y drenaje).

- c) Características del tránsito (volumen, composición vehicular, cargas por tipo de vehículo, tasas de crecimiento y accidentes).
- d) Datos climatológicos (ciclos de heladas/deshielo, precipitación, radiación solar, humedad, rangos y variaciones de temperatura).
- e) Costos (costos de construcción por tipo de pavimento, costos de mantenimiento y rehabilitación por actividad y costos a los usuarios).

### **3.- Administrador de bases de datos**

Uso de un administrador de bases de datos y de procedimientos computarizados para el almacenamiento, consulta y análisis de la información, la cual sirve como soporte para la toma de decisiones.

### **4.-Herramientas de análisis**

Conjunto de modelos matemáticos que se utilizan como apoyo para el cumplimiento de ciertas tareas en específico:

- a) Predicción del deterioro del pavimento a lo largo de la vida útil, y estimación de efectos de acciones de conservación.
- b) Evaluación económica de proyectos, así como las políticas aplicables.
- c) Definición de prioridades con respecto a requerimientos de conservación y mejoramiento.
- d) Optimización de programas de conservación para maximizar los niveles de desempeño o la rentabilidad de las inversiones.
- e) Evaluación del impacto de las estrategias de conservación y niveles de disponibilidad de recursos en el desempeño de la red.

### **5.- Componente de respuesta**

El comportamiento y costo de la información obtenida puede ser usado para evaluar los diseños y técnicas de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción. También pudiera ser usada para calibrar los procedimientos de diseño.

### **6.- Implementación**

Los procedimientos necesitan ser desarrollados para la implementación del sistema de gestión de pavimentos dentro de la agencia para asegurar la compatibilidad, utilidad y aceptabilidad.

A continuación se mencionará de manera breve, los sistemas de gestión utilizados en México:

#### **1.- Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP).**

Es un conjunto de actividades relacionadas con los procesos de organización, coordinación y control que afecten la funcionalidad, economía y vida útil de los pavimentos y que permitan una utilización adecuada de los recursos humanos y presupuestales disponibles (Rico Rodríguez, Orozco y Orozco, Téllez Gutiérrez, & Pérez García, 1990).

El sistema cuenta con 7 subsistemas:

- 1.-DATOGEN (Registra datos de ubicación y tránsito).
- 2.- ISA (Procesa Índices de Servicio Actual).
- 3.- CAPES (Procesa deflexiones).
- 4.- INVEDET (Maneja inventario de fallas o deterioros).
- 5.- HISTOREP (Registra las reparaciones efectuadas).
- 6.- CARGEOT (Procesa las características geotécnicas de las estructuras de los pavimentos y alrededores).

7.- REFIN (Procesa la interacción de los resultados de los 6 subsistemas anteriores para llegar a las recomendaciones finales).

En 1990 se desarrolló la primera fase del SIMAP para llevar a cabo la conservación de carreteras.

En 1993 se desarrolló un modelo económico involucrando los costos de operación de los usuarios.

En 1995 se desarrolló la segunda fase del SIMAP para hacer más eficiente el sistema y con un manejo más sencillo para los usuarios. Inclusión del IRI como medida cuantificable del estado del camino.

## **2.- Sistema de Simulación de Estrategias de Conservación Carretera (SISTER).**

Permite describir las estrategias de mantenimiento, observar la evolución del estado de la red y proporcionar los resultados económico-financieros para evaluar y optimizar dichas estrategias para la formulación del programa anual y multianual de conservación de la red federal libre de cuota. Con esto se ayuda en gran proporción a la toma de decisiones y se da la posibilidad de desempeñar una conservación adecuada.

Los beneficios obtenidos por el uso de este modelo son los siguientes (Osio Méndez, 2010):

1. Eliminar la intromisión política o el interés particular en la conformación del Programa Nacional de Conservación de Carreteras.
2. Identifica y orden con claridad los conceptos de trabajo de conservación periódica y rutinaria, y de reconstrucción de tramos.

3. Prepara diversos escenarios con diferentes asignaciones presupuestales para comparar la evaluación física de la red en el período de análisis.
4. Prepara estrategias de conservación y las compara entre sí para definir la más rentable.
5. Alinea los recursos con los objetivos definidos.
6. Homogeneiza criterios de mantenimiento en cada centro SCT.
7. Implementa el inventario de daños de la red carretera federal.

### **3.- Highway Development and Management (HDM-4).**

De éste último se hablará a fondo en los siguientes capítulos, ya que es la metodología que se utilizará para llevar a cabo los análisis de este trabajo.

## **2.4. Toma de decisiones**

Es necesario hoy en día que los ingenieros no sólo se centren en el diseño, construcción y supervisión, sino que también exploren ámbitos de resolución de problemas, administración y toma de decisiones, o sea, convertirse en un ingeniero complementado con aspectos económicos, el cual se apoya en los conocimientos de la ingeniería y la economía.

Con lo anterior se entiende que el aspecto técnico es muy importante, pero no se tiene que dejar pasar por alto que los problemas también se dimensionan con dinero y las consecuencias de las decisiones tomadas se sustentan tanto técnica como monetariamente. Ante esto, es de gran importancia tomar en cuenta los conocimientos económicos y financieros para tomar decisiones más íntegras y bien fundamentadas para cumplir con las necesidades que se tengan y minimizar riesgos.

Para fortalecer la idea anterior se presentan las siguientes aseveraciones:

-La economía es el estudio de cómo las sociedades utilizan los recursos escasos para producir bienes valiosos y distribuirlos entre diferentes personas (Samuelson & Hordhaus, 2006) .

-En 1930 Eugene L. Grant analizó la importancia de los factores de juicio y la evaluación de la inversión a corto plazo, así como las comparaciones convencionales de inversiones a largo plazo en bienes de capital basadas en cálculos de interés compuesto.

Para facilitar la toma de decisiones se utilizan dos procedimientos de análisis de evaluación de proyectos; el análisis de costos del ciclo de vida y el análisis beneficio-costos (Solorio Murillo, et al., 2013).

Es importante entender que para hacer una buena toma de decisiones se tiene que seguir un proceso estructurado y bien definido, a continuación en la Figura 10 se presentan las etapas de dicho proceso.



Figura 10. Proceso de toma de decisiones.

**FUENTE:** Instituto Mexicano del Transporte.

Antes de entrar en el proceso de toma de decisiones, es necesario identificar el tipo de análisis que se quiera hacer, los componentes del sistema y el nivel de decisión a tomar, para cumplir de una manera concreta y correcta las metas previstas y lograr cubrir completamente las necesidades que se tengan (Ver Figura 11).

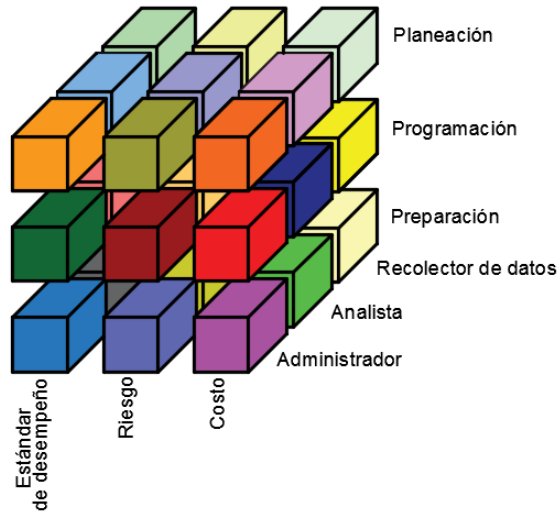


Figura 11. Ambiente dentro de la gestión.

**FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte.**

En la Figura 12 se ilustran los tres parámetros que ayudan a definir la naturaleza de un problema.

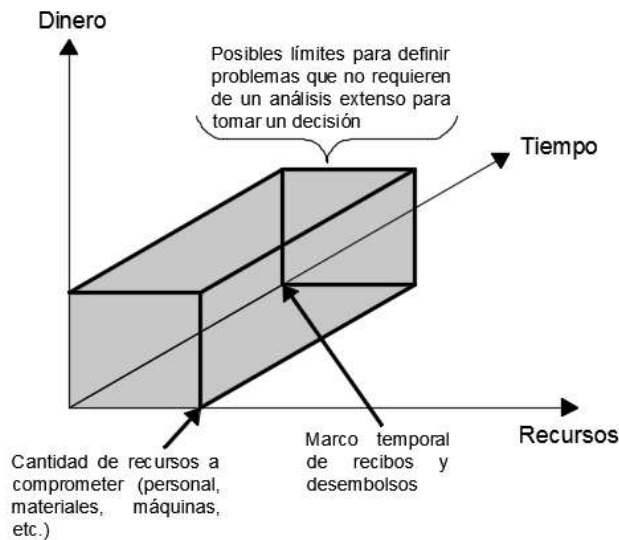


Figura 12. Criterios para dar solución a un problema

**FUENTE: Ingeniería económica para la toma de decisiones.**

Las estrategias y las tácticas son buenos elementos para formar juicios constructivos que ayudan a tomar mejores decisiones y de manera más sencilla. En cada estrategia o táctica se encuentran inmersos una serie de elementos que son parte medular en la caracterización de la toma de decisiones; tales como un conjunto de alternativas y determinados elementos económicos. Estos aspectos sirven para (Chavarría Aguilar, Ospina González, & Robles Acosta, 2011):

- \*Identificar los usos alternativos de recursos limitados y obtener datos adecuados.

- \*Analizar los datos para determinar la alternativa preferible.

La ingeniería económica hace referencia a la determinación de factores y criterios económicos para una elección entre una o más alternativas; en otras palabras, apoya a las personas a tomar decisiones mediante indicadores económicos; entre los más usados se pueden mencionar el VPN, TIR, Beneficio/Costo (VPN/RAC).

Una vez que se conozcan las partes, el funcionamiento y los resultados arrojados por el HDM-4, aunado con lo anterior expuesto, se reafirma que la elección de la alternativa se ve influenciada por la parte técnica y económica.

## **2.5. HDM-4**

### **2.5.1. Antecedentes**

El primer modelo de evaluación de proyectos de carreteras lo dio en 1968 el Banco Mundial, el cual nació como respuesta para un estudio de diseño de carreteras producido por el Banco Mundial en conjunto con el Laboratorio de Transporte e Investigación de Carreteras (TRRL) y el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC).

El Banco Mundial le encargó al Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) la construcción de un modelo basado en la información disponible para optimizar políticas de inversión vial bajo el concepto de minimizar costos totales de transporte surgió el Modelo de Costos de Carreteras (HCM) (1971,1972)

El TRRL y el Banco Mundial llevaron a cabo investigaciones sobre los deterioros en carreteras pavimentadas y no pavimentadas, así como factores que afectan el costo de operación de vehículos. Con este estudio se produjo el Modelo de Inversión en Transporte por Carretera (RTIM) (1977).

A finales de los 70's ya se disponía del modelo HDM-II. Esta versión está fundamentada en estudios de campo llevados a cabo en Kenya.

TRRL desarrolló el RITM2 en 1982.

En 1987 el Banco Mundial desarrolló, conjuntamente con los hallazgos de los estudios realizados anteriormente, el modelo HDM-III.

Para 1989 ya existía una versión de acceso público para computadoras personales denominada HDM-PC.

A la vez se empezó a distribuir una versión simplificada del modelo útil para el cálculo de los costos de operación de los vehículos (VOC).

TRRL produjo el RITM3 en 1993.

En 1994 se distribuyó una versión adaptada de HDM llamada HDM-Q, la cual podía hacer algunas consideraciones referentes al congestionamiento vial. A la par se desarrolló un utilitario denominado HDM-ADM (el administrador).

Desde 1983 existía un modelo denominado EBM (modelo de presupuestación de inversiones) el cual puede optimizar los resultados del modelo HDM cuando se aplican a la evaluación de una red vial bajo restricciones presupuestarias.

Otro modelo obtenido en el HDM-PRD (Deterioro de caminos pavimentados) que permite el análisis de la evolución del estado del pavimento sin entrar en consideraciones económicas. También valora la aplicación de factores de calibración.

Se crearon utilitarios llamados HDM-LOOP y Roads capaces de facilitar la evaluación de redes completas de caminos a través de análisis de las carreteras individuales.

Se hizo el lanzamiento de la Versión 1 del HDM-4 en Enero de 2000. Aunque en 1998 ya existían versiones Beta del HDM-4. Entre los nuevos resultados y alcances significativos se encuentran:

1. Desarrollo para el ambiente gráfico de trabajo (Windows)
2. Capacidad de análisis de carreteras congestionadas
3. Aplicabilidad a carreteras con congelamiento y deshielo
4. Análisis de carreteras de concreto hidráulico

En seguida vinieron tres versiones actualizadas (versiones 1.1, 1.2 y 1.3) durante los siguientes años. (Kerali, Odoki, & Stannard, 2006) cita a (McCoubrey, 2000), quien indicó que en el año 2000, la ISOHDM realizó un estudio sobre los requisitos de información de los funcionarios de alto nivel de administraciones carreteras para respaldar sus decisiones en la planeación de inversiones.

Se redactó un documento técnico sobre las mejoras en los asuntos mencionados por los usuarios de la tecnología HDM, así como demandas tecnológicas para tener presencia en el mercado. El Consejo Mundial de Carreteras revisó este documento y analizó las prioridades durante el Seminario sobre Gestión de Carreteras y HDM-4 celebrado en Roma en Octubre de 2001. Como resultado de dicha revisión, (Kerali, Odoki, & Stannard, 2006) cita a (PIARC, 2002), la cual enunció que se preparó un borrador de la Versión 2 de HDM-4. El lanzamiento de esta versión fue en Agosto de 2005.

Las mejoras que presenta la versión 2.0 de HDM-4 se enuncian a continuación (Morosiuk, Rilley, & Toole, 2006) :

#### 1.- Modelos de análisis

- 1.1.- Análisis de sensibilidad
- 1.2.- Análisis de escenarios presupuestales
- 1.3.- Análisis multicriterio (MCA)
- 1.4.- Estimación de beneficios sociales
- 1.5.- Valuación de activos

#### 2.- Conectividad

- 2.1.- Resultados de las corridas en formato MS Access
- 2.2.- Importación/exportación en MS Access
- 2.3.- Validación de importaciones

#### 3.- Manejo y organización de datos

- 3.1.- Tecnología actualizada de bases de datos
- 3.2.- Rediseño de las funciones para tramos nuevos
- 3.3.- Rediseño de tránsito
- 3.4.- Gestión de informes

#### 4.- Modelos técnicos

- 4.1.- Deterioro de carreteras asfálticas
- 4.2.- Efectos de los trabajos en carreteras asfálticas
- 4.3.- Deterioro de carreteras no pavimentadas
- 4.4.- Efectos de los trabajos en carreteras no pavimentadas
- 4.5.- Efectos sobre los usuarios

#### 5.- Factibilidad de uso y configuración

- 5.1.- Editor de intervención y criterios de activación de las acciones
- 5.2.- Interfaz de usuario para las alternativas
- 5.3.- Arquitectura de las DLL del modelo
- 5.4.- Estándares de conservación posteriores a las mejoras
- 5.5.- Exclusión temporal de tramos dentro del estudio
- 5.6.- Juegos de calibración
- 5.7.- Configuración – Tipos de accidentes
- 5.8.- Configuración – Tipos de vehículos/capacidad
- 5.9.- Configuración – Modelos de tránsito

Se comenzó la aplicación del sistema de Simulación de Estrategias de Conservación Carretera (SISTER por sus siglas en francés) desde 1992 por parte de la Dirección General de Conservación de la SCT (DGCC), con el objeto de evaluar y optimizar alternativas para la formulación del programa anual de conservación de la red federal de carreteras libre de peaje.

Se destaca la implementación de un sistema de gestión de pavimentos basado en HDM-4 en el estado de Guanajuato a mediados de la década de 2000 para apoyar la gestión de la red de carreteras del estado.

A partir de 2007, puesta en operación de un sistema de gestión de pavimentos basado en HDM-4 en la DGCC para sustituir al SISTER, previamente citado en obtención del programa anual de conservación de la red federal libre.

Uso de HDM-4 para la evaluación de los proyectos de referencia de los Contratos Plurianuales para la Conservación de Carreteras (CPCC), un nuevo esquema de asociación implementado por la DGCC para afrontar el problema de la conservación de la red federal libre de peaje.

### **2.5.2. Metodología HDM-4**

El HDM-4 es un herramienta que facilita la toma de decisiones a partir del análisis y optimización de inversiones destinadas al mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de carreteras, y que puede ser utilizada para evaluar, en términos técnicos y económicos, proyectos, programas y políticas de conservación (Salgado Torres, 2015).

Es un conjunto de herramientas para el análisis técnico y económico de alternativas de inversión relacionadas con la conservación y mejoramiento de carreteras (Solorio Murillo, et al., 2004).

Se pueden definir 4 áreas de alcance del HDM-4 (Morosiuk, Rilley, & Toole, 2006):

#### **1. Presupuestación de proyectos**

Obtención de presupuestos para la conservación, rehabilitación, mejora y nueva construcción, por medio del análisis de ciclo de vida de una propuesta de inversión en carreteras.

## **2. Programación de trabajos**

Preparación de programas de conservación y desarrollo de red de carreteras para varios años, preparación de presupuestos a mediano plazo.

## **3. Planeación estratégica**

Desarrollo de políticas, distribución de recursos a largo plazo y planificación de redes de carreteras.

## **4. Software**

Sistema fácil de usar, hecho a base de un conjunto de módulos capaces de operar distintos niveles de disponibilidad de datos y destreza de usuarios.

Con base a las herramientas incorporadas al HDM-4, éste puede desarrollar las siguientes tareas (Solorio Murillo, et al., 2004):

- 1.- Calcular el deterioro del pavimento durante su vida útil.
- 2.- Predecir los efectos de acciones de conservación y mejoramiento del pavimento.
- 3.- Estimar costos de operación vehicular y otros propios de los usuarios.
- 4.- Determinar efectos de la congestión en la velocidad de operación de vehículos.
- 5.- Evaluar proyectos, políticas y programas de conservación en términos técnicos y económicos, obteniendo montos y beneficios de cada alternativa, y calcular indicadores de rentabilidad (VPN, TIR y VPN/Costo).
- 6.- Optimizar programas de conservación y mejoramiento sujetos a restricciones presupuestales.
- 7.- Calcular montos de inversión necesarios para mantener un determinado calidad de servicio.
- 8.- Evaluar efectos de políticas a largo plazo (cambios de cargas legales del tránsito, estándares de conservación y normas de diseño).

En la Figura 13 se muestra el procedimiento general de trabajo que sigue HDM-4 para encontrar la alternativa óptima bajo restricciones presupuestales.

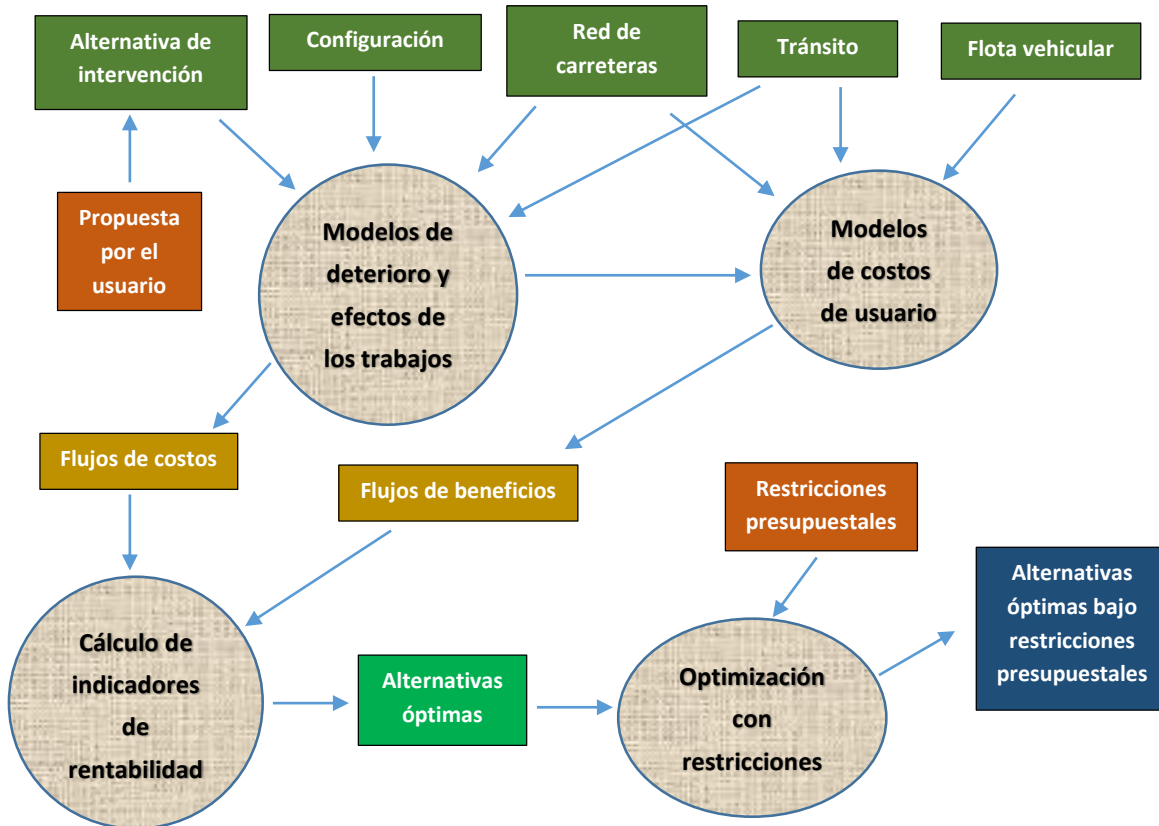


Figura 13. Procedimiento general de trabajo del HDM-4.

FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte.

En la Figura 14 se observa la estructura del HDM-4.

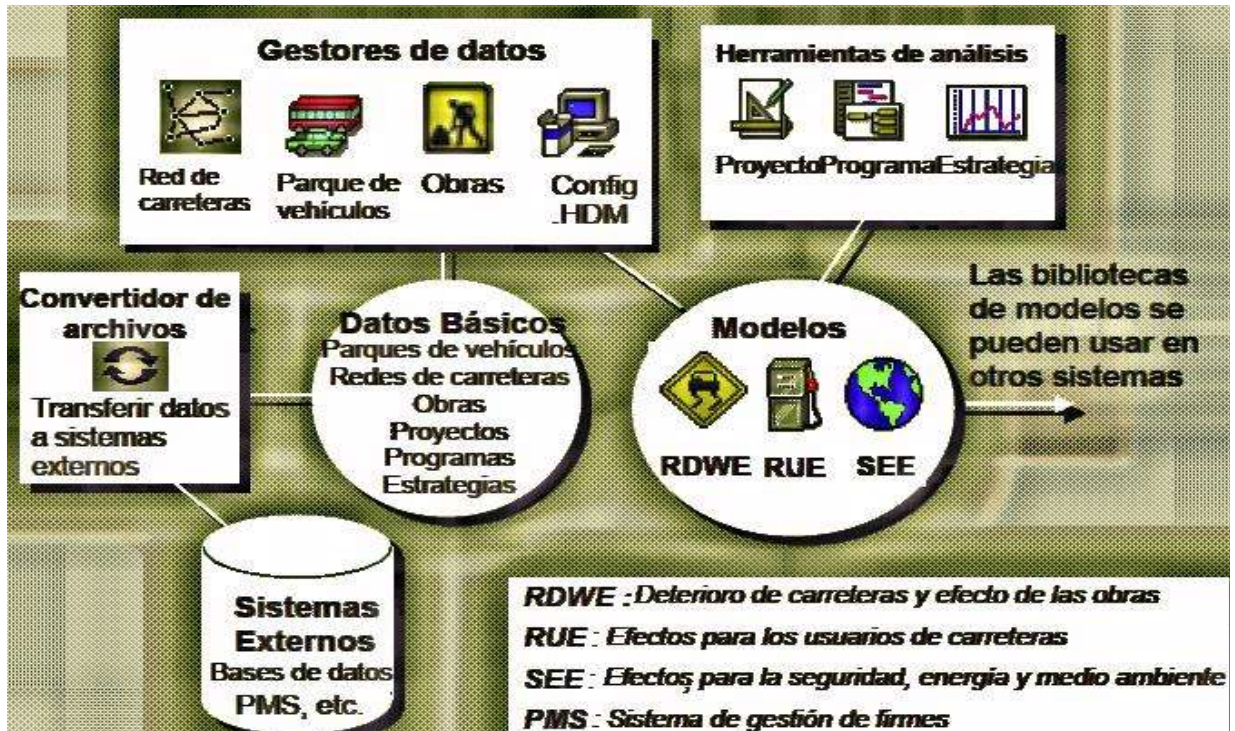


Figura 14. Estructura de HDM-4

FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management. Volume One: Overview of HDM-4.

A continuación se presentan los principales elementos que conforman al software de HDM-4:

### 2.5.3. Gestores del HDM-4

Los gestores de datos que maneja el HDM-4 son (Stannard, Wightman, & Dakin, 2006):

#### 1.- Red de carreteras

Sirve para almacenar detalles sobre las carreteras que se desea analizar. La red está conformada por varios tramos. Para ingresar los datos de una red al HDM-4, es necesario dividir la red en tramos homogéneos.

La red de carreteras se vincula con la flota vehicular y la serie de calibración.

## **2- Flota vehicular**

Se utilizan para almacenar detalles sobre tipos de vehículos. Una flota está formada por distintos tipos de vehículos, cada tipo representa una categoría de vehículo dentro del flujo de tránsito modelado. También se utiliza para definir series de crecimiento del tránsito.

Existen 2 categorías en las que se encuentran cada uno de los tipos de vehículos:

**\*Motorizados:** Motocicleta, automóvil pequeño, automóvil mediano, automóvil grande, vehículo ligero de reparto, vehículo ligero de mercancías, vehículo todo terreno, camión ligero, camión mediano, camión pesado, camión articulado, minibús, autobús ligero, autobús mediano, autobús pesado y autobús interurbano.

**\*No motorizado:** Peatones, bicicleta, carruaje oriental y carreta.

## **3.- Obras**

Define estándares de conservación, mejora y tramos de nueva construcción, junto con costos unitarios. Para los estándares de conservación y de mejora los criterios de intervención resultan de gran importancia.

## **4.- Configuración de HDM**

Define datos por defecto, pero el usuario los tiene que adecuar a su entorno y condiciones locales.

a) Modelos de tránsito

Se emplean para representar las variaciones en la intensidad del tránsito, y se definen como un conjunto de períodos de flujo, cada uno representa las horas del día en las que se presenta el mismo flujo.

b) Tipos de velocidad/capacidad

Representan las características de capacidad de los diferentes tipos de carretera. Algunos ejemplos son los siguientes: carretera de un solo carril, carretera de un carril ancho, carretera de dos carriles, carretera de cuatro carriles.

c) Tipos de accidentes

Representa las características de accidentalidad. Estas características se definen en términos de tasa de accidentes por 100 millones de vehículos-Km.

d) Zonas climáticas

Representa las condiciones climatológicas que existen en las distintas partes de la red de carreteras.

La información que se presenta en esta sección se divide en dos categorías: temperatura y humedad.

e) Unidades monetarias

Se establece una lista de unidades monetarias para especificar lo siguiente:

- \*Costos unitarios de la flota vehicular
- \*Costos unitarios predeterminados de los trabajos
- \*Valores de los activos de la red de carreteras
- \*Resultados del análisis de proyectos
- \*Resultados del análisis de programas
- \*Resultados del análisis de estrategias

f) Datos y tablas agregados de tramo y parámetros de calibración

VARIABLES DEFINIDAS EN ESTA SECCIÓN:

- \*Volumen de tránsito
- \*Tipo de carretera
- \*Tipo de geometría
- \*Calidad de compactación
- \*Adecuación estructural
- \*Calidad de rodadura
- \*Condición superficial
- \*Textura superficial

Los parámetros de calibración se relacionan con los modelos de deterioro de carreteras y efectos de los trabajos.

g) Series de calibración del deterioro de carreteras

Permiten definir conjuntos de coeficientes de calibración de tramos para la variedad de tipos de pavimento (asfáltico, de concreto y sin pavimentar) que caracterizan la red.

#### **2.5.4. Herramientas de análisis del HDM-4**

Herramientas de análisis utilizadas en el HDM-4 (Stannard, Wightman, & Dakin, 2006):

##### **1.- Análisis de proyectos**

Evalúa alternativas de proyecto individuales para la conservación y mejoramiento de un conjunto de tramos, durante un periodo de análisis determinado. El sistema compara las alternativas empleando indicadores de rentabilidad económica.

Tiene dos formas de análisis:

**\*Por tramo**

Se especifican las alternativas por cada tramo, no se acepta tramos nuevos ni tránsito atraído.

**\*Por proyecto**

Determina la mejor alternativa para los tramos como grupo, acepta tramos nuevos y tránsito atraído.

**2.- Análisis de programas**

Se refiere a la preparación de programas plurianuales a corto o mediano plazo para una red de carreteras, en los cuales se identifican y eligen opciones de inversión sujetas a restricciones presupuestales para maximizar la rentabilidad económica. La red se analiza tramo por tramo, y se generan estimaciones sobre los trabajos y las necesidades de gasto para cada uno y para cada año del período presupuestal.

Los tipos de análisis utilizados son los siguientes:

**\*Programa de previsión multianual**

Define un conjunto de estándares y analiza el beneficio de ejecutar los trabajos cuando son necesarios o posponerlos.

**\*Análisis ciclo de vida**

Define varias alternativas de inversión, se lleva a cabo igual que en el análisis de proyectos con el método de análisis por tramo.

### 3.- Análisis de estrategias

Se analiza de manera global la red para preparar estimaciones de planeación de mediano y largo plazo sobre las necesidades de gasto para el desarrollo y conservación de las carreteras bajo distintos escenarios presupuestales

Existen tres métodos para optimizar: maximizar VPN, maximizar decremento de IRI y minimizar el costo del IRI.

En la Tabla 7 se observa la relación entre las funciones de los sistemas de gestión y las herramientas utilizadas por el HDM-4.

Tabla 7. Relación entre funciones de gestión y las aplicaciones de

Función de gestión	Aplicaciones de HDM4
Planeación	Análisis de estrategia
Programación	Análisis de programa
Preparación	Análisis de proyecto
Operación	No cubierto por HDM4

FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management. Volume One: Overview of HDM-4.

#### 2.5.5. Modelos del HDM-4

Para entender de mejor manera los modelos que maneja el HDM-4, se hablará de su naturaleza, la influencia de la regularidad en estos, la repercusión que tienen variables que los conforman, lo modelos manejados y cómo interactúan todos estos dentro del HDM-4.

##### 2.5.5.1. Naturaleza de modelos

(Solorio Murillo, Márquez Mendoza, Montoya Ortega, Cárdenas Rodríguez, & Hernández Domínguez, 2014) citan a (Robinson, et al., 1998), quienes indican que

los modelos utilizados en el análisis de deterioro de pavimentos son de naturaleza determinista o probabilística (Ver Figura 15).

1. Determinista: La condición futura se establece mediante un valor preciso, el cual se calcula relacionando un indicador de deterioro con variables explicativas. Los modelos utilizados en el método de diseño AASHTO y en el HDM-4, son de este tipo de naturaleza.
2. Probabilística: El estado futuro del pavimento se estima como una función de probabilidad para el conjunto de posibles estados que podrían presentarse.

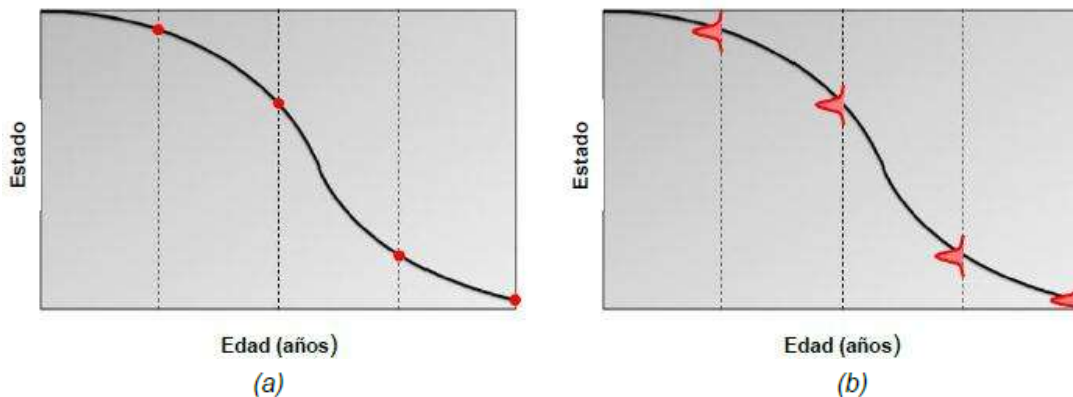


Figura 15. Modelos de deterioro; a) Determinista y b) Probabilístico.

**FUENTE:** Instituto Mexicano del Transporte.

A la vez, los modelos se pueden clasificar de la siguiente forma (Haas, Hundson, & Zaniewski, 1994):

- 1.- Mecanicistas: Tienen fundamento en teorías del comportamiento de pavimentos (respuestas primarias del pavimento).

2.- De regresión: La variable dependiente, que representa el deterioro funcional o estructural, observada o medida, se relaciona con una o más variables independientes (resistencia de Sub-rasante, factores ambientales, etc.).

3.- Empírico mecanicistas: Mediante ecuaciones de regresión, relacionan un parámetro de respuesta con un deterioro funcional o estructural medido.

4.- Subjetivos: Capturan la experiencia sobre el deterioro del pavimento de un modo formal o estructurado, empleando modelos de procesos de transición.

Los principales modelos del HDM-4 pueden englobarse en dos grupos: modelos de costos de usuario y modelos de deterioro.

#### **\*Modelo de costos de usuario**

Este modelo está enfocado a los costos de operación, los cuales son parte fundamental de la evaluación económica.

El propósito de la evaluación económica es determinar la cantidad a ser invertida y que beneficios económicos se espera obtener. La cantidad de inversión se determina por los costos de construcción y conservación, y los beneficios se identifican con los ahorros sobre los usuarios.

A continuación se enuncian cada uno de los costos mencionados (Odoki & Kerali, 2006):

##### **1.- Costo construcción**

Los costos de construcción están conformados por los costos de preparación del sitio, movimiento de tierras, construcción del pavimento, estructura de drenaje y puente y trabajos asociados.

## **2.- Costo de conservación**

Conservar significa mantener durante un tiempo determinado, el camino en buenas condiciones y en una adecuada calidad de servicio para el usuario.

Se calculan a partir de las cantidades rutinas de conservación de respuestas imprevistas, de las conservaciones periódicas, y de cualquier mejora aplicada. Esto dependerá de la condición del pavimento y de los estándares de conservación.

## **3.- Costos sobre los usuarios**

Se definen como los costos que impactan en los conductores de los vehículos.

Existen cuatro tipos de costos sobre los usuarios:

### \*Costos de operación de los vehículos:

Los costos de operación varían con dos condiciones; la pendiente y estado superficial del pavimento (Rico Rodriguez, Téllez Gutiérrez, & Anguas Garnica, 1998).

\*Pendiente: Si se circula con una pendiente de 3% es un 50% mayor que si circula por terreno plano. Esta diferencia llega a 100% si se superan pendientes del 5 o 6%.

\*Estado superficial de un pavimento: Si éste pasa de lo que se considerara un estado “óptimo” a otro calificado de “bueno”, el costo de operación por kilómetro recorrido, puede aumentar de un 15 a un 20% y si el estado superficial llegara a “malo”, este factor de incremento podría ser de 35 o 40%.

Los componentes de los costos de operación son los siguientes:

- 1.- Combustible y lubricantes
- 2.- Llantas
- 3.- Reparaciones y refacciones
- 4.- Mantenimiento del vehículo
- 5.- Salarios de operador
- 6.- Depreciación y reposición de vehículos
- 7.- Intereses
- 8.- Seguros

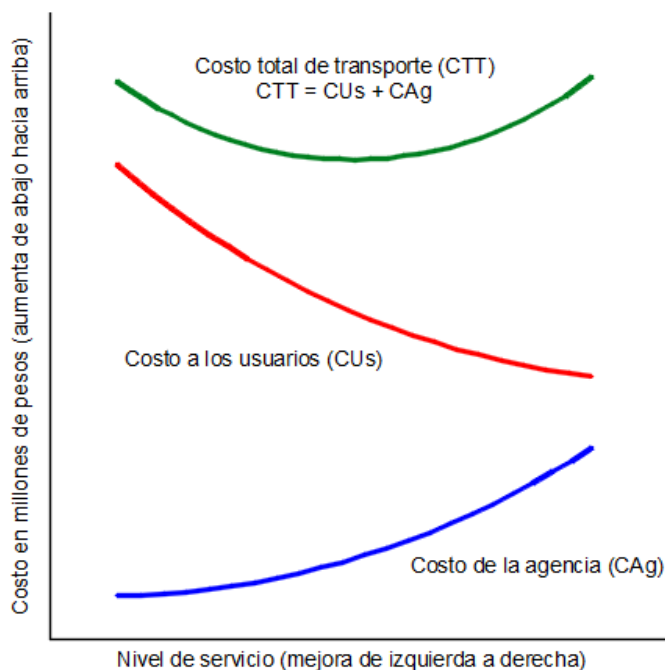
\*Costos del tiempo de recorrido

Se calculan a partir del promedio de las velocidades, la distancia entre origen y destino y los costos unitarios por hora de tiempo del usuario de la carretera.

\*Costos por accidentes

\*Costos por incomodidades

El cálculo de estos costos se logra modelando las interrelaciones entre el medioambiente, estándares de construcción, conservación y geométricos, y los costos sobre los usuarios. Así mismo, todos estos costos conforman el costo total de transporte (CTT) (TYPESA, 2001) (Ver Gráfica 14).



Gráfica 14. Integración del costo total de transporte.

**FUENTE:** Manual de TYPESA para la instalación y operación del modelo de gestión vial HDM-4.

Sólo cabe aclarar que los costos de la agencia están representados por los costos de construcción y los costos de conservación.

El modelo de evaluación de inversión puede calcular estos costos, y a la vez, puede ser utilizado para seleccionar el estándar de mantenimiento que genere el mínimo costo total de transporte.

Los flujos anuales generados por estos costos son la base de la evaluación económica, la cual cumple la función de sustento para la toma de decisiones.

**\*Modelo de deterioros**

Los modelos de deterioro tienen la función de proyectar la evolución del estado de los pavimentos.

El deterioro del pavimento se modela con base al número de defectos; la regularidad del camino, agrietamiento del pavimento, roderas, desprendimientos, deformación en materiales y baches.

La tasa de deterioro está en función de (Odoki & Kerali, 2006):

- 1.- Estándar inicial del diseño del pavimento
- 2.- Cargas del tráfico.
- 3.- Estándar de conservación
- 4.- Efectos ambientales

Los modelos de deterioro, enfocándose a la predicción de resultados, se pueden clasificar como absolutos o incrementales. Los absolutos predicen la magnitud del deterioro en un momento determinado dentro del período, y los incrementales calculan el cambio en la magnitud respecto al valor inicial, los modelos de deterioro para pavimentos flexibles del HDM-4 entran en estos (Solorio Murillo, et al., 2004).

Cabe resaltar que los modelos de deterioro pueden variar dependiendo del tipo de capa de rodadura que se tenga. Los tipos de capas de rodadura , según HDM-4, son:

- 1.- Asfálticas (modelo incremental)
- 2.- Concreto (modelo absoluto)
- 3.- No pavimentado (modelo incremental)
- 4.- Bloque (modelo incremental)

Los deterioros modelados por el HDM-4 se presentan en la Tabla 8

Tabla 8. Deterioros modelados por el HDM-4.

Asfáltico	Concreto	Bloque	No pavimentados
Agrietamiento	Agrietamiento	Rodera	Pérdida de grava
Desprendimiento	Despostillamiento en las juntas	Textura superficial	Regularidad
Bacheo	Escalonamiento	Regularidad	
Rotura de borde	Falla grieta transversal y en el acero de refuerzo		
Rodera	Pérdida de serviciabilidad		
Textura superficial	Regularidad		
Resistencia al deslizamiento			
Regularidad			

**FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management. Volume Four: Analytical Framework and Model Descriptions.**

Debido a que la irregularidad es un factor a tomar en cuenta en los dos modelos; en la siguiente sección se hablará de los elementos que la conforman, ya que es el parámetro que se toma para definir la condición del camino.

#### ***2.5.5.2. Caracterización de la regularidad en el modelo de deterioros.***

Los modelos utilizados por el HDM-4 se alimentan con determinada información del camino, en específico: geometría, número y características de las capas que lo componen, trabajos previos de conservación, tránsito, clima y la condición actual. Se hablará un poco más de esta última, ya que los elementos que la componen se modelan en forma separada, pero al final los resultados se combinan para obtener el pronóstico de la regularidad del pavimento, la cual es uno de los indicadores principales para la toma de decisiones (Ver Figura 16).

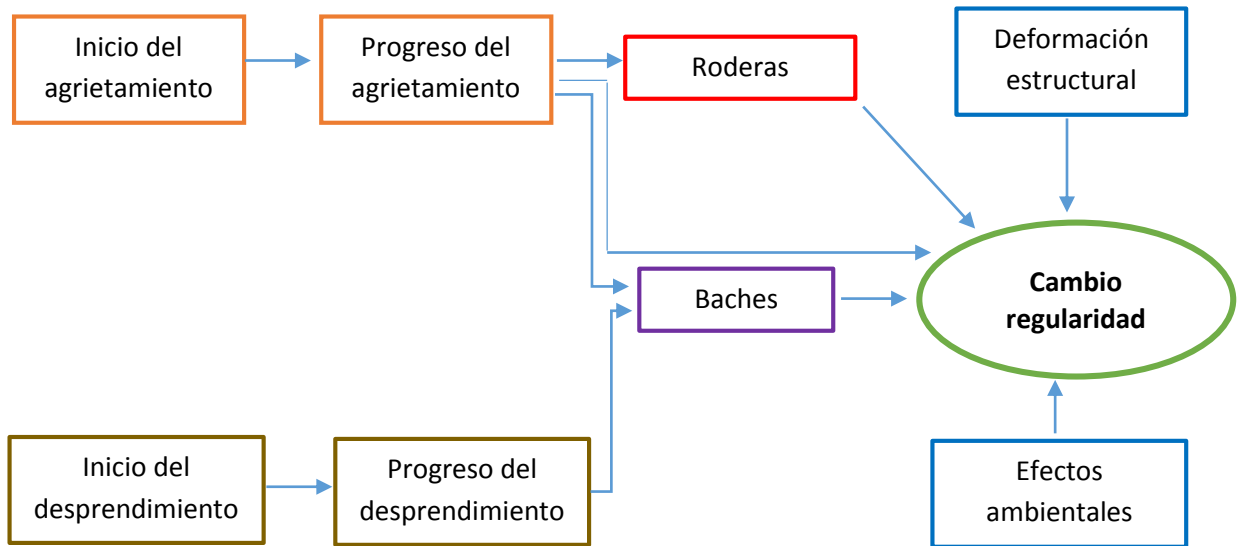


Figura 16. Componentes del cambio de regularidad.

**FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte.**

A continuación, se enuncian los componentes del cambio irregularidad (Odoki & Kerali, 2006):

### **\*Arietamiento**

La fatiga y el envejecimiento son dos de los principales factores que contribuyen a la aparición del agrietamiento en pavimentos flexibles. Éste se propaga de manera acelerada debido a la fragilidad causada por el envejecimiento y la inclusión de agua.

Existen dos tipos de agrietamiento en HDM-4

#### **1. Agrietamiento estructural**

Es modelado como total y ancho. El primero se refiere a la totalidad del agrietamiento estructural, y el segundo sólo considera grietas mayores de 3 mm.

Es causado por las cargas y la edad/medio ambiente.

## **2. Agrietamiento térmico transversal**

Es modelado como un agrietamiento intensivo expresado como número de grietas/Km. El coeficiente de agrietamiento por temperatura (CCT) es usado como variable para predecir el inicio del agrietamiento térmico para distintas zonas climáticas.

Es causado por cambios largos de temperatura o condiciones de congelamiento/deshielo.

### **\*Desprendimiento**

Es la pérdida progresiva del material de la superficie debido al clima y/o la abrasión del tráfico. Éste ocurre en distintas regiones y países conforme a los métodos de construcción, especificaciones, materiales disponibles y la práctica local.

El desprendimiento es común en construcciones pobres, en capas delgadas de asfalto como superficies tratadas, y muy raro en mezclas asfálticas en caliente.

### **\*Área con baches**

Se desarrolla por lo regular en una superficie agrietada, con desprendimientos o ambas. La presencia de agua acelera su deformación y provoca un debilitamiento en la estructura

### **\*Rotura de borde**

Es definida como la pérdida de superficie y material de base en la orilla del pavimento, causados por falla cortante y desgaste. Esto surge normalmente en caminos estrechos con los hombros no pavimentados.

La medida para la rotura de borde proporcionada como dato de entrada al modelo, será el  $m^2/Km$ . El valor en  $m^2$  es multiplicado por el STEP (diferencia de elevación entre el pavimento y el hombro) para obtener el volumen de rotura de borde, en  $m^3$ .

### **\*Roderas**

Consiste en la deformación permanente o no recuperable a lo largo del tiempo de las distintas capas del pavimento; esta se manifiesta como depresiones en las huellas de las llantas de los vehículos.

La profundidad de la rodera se basa en la suma de los siguientes componentes:

- \*Densificación inicial (grado de compactación relativa de la base, Sub-base y carpetas de relleno).
- \*Deformación estructural
- \*Deformación plástica
- \*Uso de llantas con aditamentos

En la Tabla 9 se muestra la calificación para la profundidad de rodera, de acuerdo a ciertos rangos de valores.

Tabla 9. Valores de PR.

Rango	Calificación
PR $\leq$ 5 mm	Buena y zonas aceptables
5 < PR $\leq$ 15 mm	Regular y zonas deben ser
PR > 15 mm	Mala y zonas rechazadas

FUENTE: Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey.

### **\*Medioambiente**

Esta componente que determinada por factores que incluyen fluctuaciones en la temperatura y en la humedad, y por los movimientos del terreno.

### \*Cambio total en la irregularidad

El modelo de regularidad está compuesto por el agrietamiento, desintegración, deformación y mantenimiento. El incremento total de la regularidad es la suma de cada uno de ellos (Ver Ecuación 1).

$$\Delta RI = K_{gp} [\Delta RI_s + \Delta RI_c + \Delta RI_r + \Delta RI_t] + \Delta RI_e$$

Ecuación 1. Cálculo del cambio total de regularidad.

Donde:

$\Delta RI$ : Cambio proporcional total de la irregularidad durante el año analizado (m/Km).

$K_{gp}$ : Factor de calibración del progreso de la irregularidad.

$\Delta RI_s$ : Cambio proporcional en la regularidad debido al deterioro estructural durante el año analizado (m/Km).

$\Delta RI_c$ : Cambio proporcional en la regularidad debido al agrietamiento durante el año analizado (m/Km).

$\Delta RI_r$ : Cambio proporcional en la regularidad debido a la rodera durante el año analizado (m/Km).

$\Delta RI_t$ : Cambio proporcional en la regularidad debido a las áreas de baches durante el año analizado (m/Km).

$\Delta RI_e$ : Cambio proporcional en la regularidad debido al medioambiente durante el año analizado (m/Km).

Conociendo el cambio de la irregularidad, la irregularidad al final del año que se está analizando se define con la Ecuación 2.

$$RI_b = \text{MIN}[(RI_a + \Delta RI), a_0]$$

Ecuación 2. Cálculo de regularidad final.

Donde:

$RI_b$ : Regularidad del pavimento al final del año analizado (m/Km).

$RI_a$ : Regularidad del pavimento al inicio del año analizado (m/Km).

$a_0$ : Límite máximo de la irregularidad del pavimento, especificado por el usuario (predeterminado = 16 m/Km).

### **2.5.5.3. Sensibilidad de variables dentro del modelo.**

Una parte fundamental en el entendimiento de los modelos de deterioro es el conocimiento de la sensibilidad que tiene cada parámetro que participa en el modelo.

Para medir los niveles de sensibilidad es recomendable usar el concepto de **elasticidad del impacto**, el cual se define como la relación entre los porcentajes de cambio de un resultado de referencia y cambio en el parámetro de entrada (Solorio Murillo, et al., 2004).

Ya que logramos identificar dicha sensibilidad ahora podemos ingresar al proceso de predicción, el cual consiste en estimar, en cada año del período de análisis definido, los efectos del deterioro superficial y la pérdida de capacidad estructural en el IRI. Con lo anterior, se refleja de nuevo lo importante que es conocer la sensibilidad que presentan los distintos parámetros en la irregularidad.

En lo que concierne al HDM-4, lo anterior es de gran utilidad, ya que facilita la optimización de los recursos disponibles para la recopilación de información y el encausamiento de esfuerzos para la calibración de los modelos, ya que se conocen las variables con mayor influencia en los resultados

En conclusión, es indispensable jerarquizar las variables del HDM-4 de acuerdo al impacto que tienen en las predicciones de los modelos.

#### **2.5.5.4. Modelos manejados en el HDM-4.**

Los modelos utilizados en el HDM-4 (Kerali, Odoki, & Stannard, 2006):

- 1.- Modelo de deterioro y efectos de las obras (RDWE): Predice la evolución del estado físico de las carreteras en función de las solicitaciones impuestas por el tránsito, de las condiciones climatológicas, y del tipo de pavimento; asimismo, los modelos estiman los efectos de las obras de conservación y mejoramiento más usuales.
  
- 2.- Modelos de efectos para los usuarios (RUE): Son utilizados para calcular los efectos del estado físico y las condiciones de operación de las carreteras sobre los usuarios de las mismas, en términos de costos de operación vehicular, los tiempos de recorrido y accidentes.
  
- 3.- Modelos de efectos seguridad, energía y ambientales (SEE): Grupo de modelos destinados a determinar los efectos de la condición de los pavimentos en aspectos como la tasa de accidentalidad, consumo de energía asociado con la operación del tránsito, equipo de construcción, y la emisión de contaminantes.

#### **2.5.5.5. Análisis de costo del ciclo de vida.**

El marco de análisis del HDM-4 se basa en el concepto del análisis de costos del ciclo de vida del pavimento, como se mencionó en el apartado 2.4, es uno de los procedimientos de evaluación de proyectos de inversión para auxiliar a los administradores en la toma de decisiones. Éste consiste en el cálculo de los costos de un conjunto de alternativas para la ejecución de un proyecto a lo largo de un ciclo de vida, y a la selección de la alternativa con menor costo total (Solorio Murillo, et al., 2013).

El análisis ciclo de vida se utiliza para predecir los siguientes elementos:

- 1.- Deterioro de la carretera
- 2.- Efectos de los trabajos
- 3.- Efectos sobre los usuarios de las carreteras
- 4.- Efectos socioeconómicos y medioambientales

Los costos incluidos en el análisis ciclo de vida son:

- \*Los de conservación y mejora de la red.
- \*Al usuario, derivados de la operación de los vehículos, el tiempo de traslado y los accidentes viales.
- \*Por efectos ambientales que se cuantifican por medio de las emisiones de vehiculares y el consumo de energía.

Entendiendo el concepto del análisis ciclo de vida y conociendo los elementos que tienen gran relevancia dentro del mismo, en la Figura 17 se conceptualiza su funcionamiento.

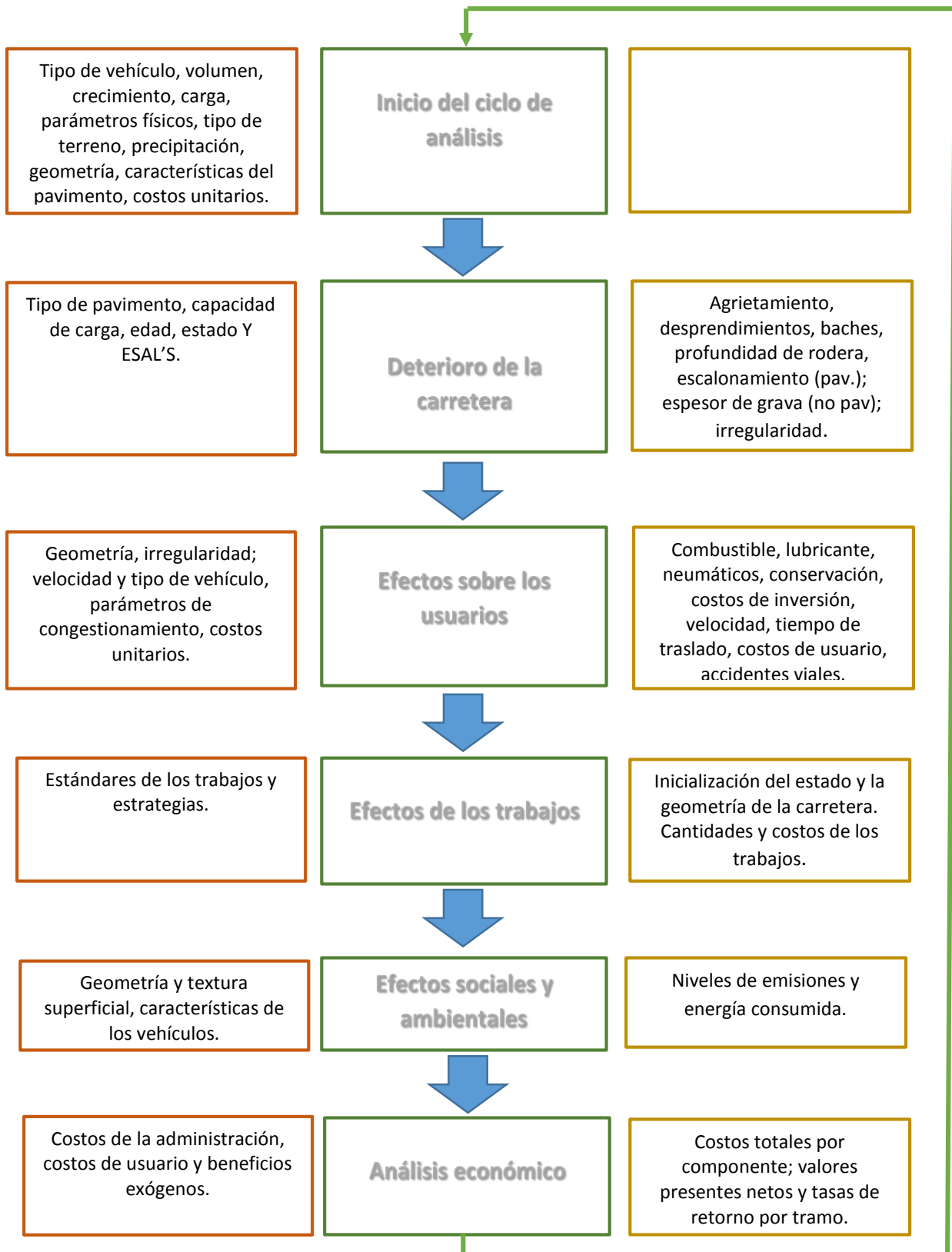


Figura 17. Análisis ciclo de vida.

FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management. Volume Two: Applications Guide.

En resumen, los principales resultados arrojados de dicho análisis son los siguientes (Morosiuk, Rilley, & Toole, 2006):

- \*Indicadores de eficiencia económica
- \*Programas plurianuales de trabajo
- \*Planes estratégicos de conservación y desarrollo de carreteras

Estos resultados a la vez son de gran utilidad en la toma de decisiones.

## **2.6. Modelos de contratación utilizados por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes**

### **2.6.1. Antecedentes**

Como se ha mencionado, uno de los grandes problemas a los que nos enfrentamos en la gestión, es la obtención del suficiente recurso económico para la ejecución de los estándares de conservación adecuados. Ante esto la DGDC diseñó tres modelos de participación público-privada (Dirección General de Desarrollo Carretero, 2010):

#### **1.- Concesiones**

- Se aplica para desarrollar proyectos carreteros que cuentan con una fuente de pago propia (autopistas de cuota).
- Se otorgan por medio de procesos de licitación pública.
- Las licitaciones se desarrollan y están controladas por la SCT, quien entrega a los concursantes el proyecto ejecutivo y el derecho de vía liberado, fija las tarifas medias máximas y la regla para su actualización por inflación.
- El plazo de duración de la concesión que puede ser hasta de 30 años.
- En algunos casos la SCT gestiona la aportación de una ayuda económica pública inicial para asegurar la viabilidad del proyecto.

-El licitante ganador es el que cumpla con todos los requisitos de la licitación y que solicite el menor apoyo económico al gobierno u ofrezca el pago del mayor monto de recursos a cambio de la concesión.

-Algunas obras bajo el modelo de concesión son: Morelia - Salamanca, Arco Norte de la Ciudad de México (Entronque autopista México – Querétaro – San Martín Texmelucan) y Autopista Salamanca – León.

## **2.- Aprovechamiento de activos**

-Es una variante del modelo de concesión que consiste en hacer un paquete de activos carreteros existentes con nuevas carreteras de cuota por construir.

-Se otorgan por medio de procesos de licitación pública.

-El particular que se adjudique la concesión operará, conservará y explotará los activos existentes y las autopistas que construya las conserva y opera.

-Facilita el desarrollo de una nueva infraestructura, la obtención de recursos adicionales y eleva la calidad de servicio de las carreteras.

-El plazo de duración de la concesión que puede ser hasta de 20 años.

-Algunas obras bajo el modelo de aprovechamiento de activos son: Zacapu – Entronque Autopista Maravatío – Zapotlanejo, Libramiento de Uruapan y Libramiento de Morelia.

## **3.- Proyectos de prestación de servicios (PPS)**

-Se enfoca en el desarrollo de proyectos de modernización de carreteras existentes libres de peaje, las cuales ya modernizadas siguen siendo libres de cuota.

-Se otorgan por medio de procesos de licitación pública.

-El contrato tiene una duración fija de 15 a 30 años.

-Se establece una asociación entre SCT y empresa privada para diseñar, financiar, construir, mantener y operar una carretera.

-La empresa presta el servicio a cambio de pagos periódicos trimestrales, basados en la calidad de la infraestructura, medida con indicadores de calidad. La fuente de estos pagos es el presupuesto federal.

-Algunas obras bajo el modelo de prestación de servicios son: Irapuato - La Piedad, Querétaro – Irapuato y Nueva Italia – Apatzingán.

Además de los modelos anteriores, se adicionaron los **Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras (CPCC)** para la conservación de la red federal libre de cuota, de estos se hablará más a fondo a continuación, ya que son el caso en estudio del presente trabajo.

Aunque que no sea un antecedente del CPCC, es importante mencionar el último modelo de participación público-privada que se está utilizando, el cual es la **Asociación Público-Privada (APP)**. Aunado a que sea la última forma de participación público-privada, se menciona por significar la aplicación de la aportación encontrada en este trabajo (el uso de la herramienta de análisis de estrategia del HDM-4).

Una **APP** es un modelo de inversión a largo plazo que incorpora técnicas, distribución de riesgos, objetivos y recursos entre particulares y gobierno, en otras palabras, son contratos entre el sector público y la iniciativa privada para la planeación, construcción, operación y mantenimiento de obras de infraestructura pública a largo plazo.

Resulta atractiva la participación del gobierno en APP por las siguientes razones (Weihmann I. & Figueroa P., 2015):

1. Atraer inversión con capital privado para completar los recursos públicos limitados
2. Incrementar la eficiencia y usar mejor recursos escasos

3. Se posibilita acelerar la implementación de **reformas en sectores de la economía**, por medio de la reasignación de funciones, incentivos y responsabilidades de los participantes para disminuir conflictos de interés, en otras palabras, ayuda a **administrar los riesgos** del proyecto entre el sector público (planeación estratégica y control normativo) y privado (técnico, desempeño y financiero).

En general, para la aprobación de un proyecto con participación público-privada por parte de la Secretaría de Hacienda, se requiere demostrar su rentabilidad social y su viabilidad económica y financiera, estos dos requerimientos son cubiertos a la perfección con el uso del HDM-4.

### ***2.6.2. Contrato Plurianual de Conservación de Carreteras (CPCC)***

A causa del nivel de presupuestos manejados en conservación, la SCT está obligada a trabajar la conservación de los pavimentos en los rangos **Satisfactorio y No Satisfactorio**, siendo más costoso llevarlos a un estado **Bueno**.

Con el esquema de contratación para la conservación CPCC, los contratos están diseñados para llevar los pavimentos al rango Bueno, y posteriormente mantenerlos permanentemente en ese nivel. Esto generará una mayor eficiencia en el ejercicio de los recursos, comodidad, seguridad, una elevada calidad de servicio a usuarios y menores costos de operación (Dirección General de Conservación de Carreteras, 2011).

A nivel internacional se han desarrollado esquemas de conservación similares a los CPCC, algunos de los países que lo han llevado a cabo son los siguientes:

- \*Estados Unidos
- \*Francia
- \*Sudáfrica
- \*Australia

\*España

\*Chile

\*Perú

\*Uruguay

En los cuales se hace hincapié la práctica del mantenimiento preventivo, para evitar un mantenimiento correctivo.

Los objetivos del esquema CPCC están enlistados en seguida (Dirección General de Conservación de Carreteras, 2011):

- 1.- Mejorar el servicio proporcionado a los usuarios.
- 2.- Modernizar la gestión de la red de carreteras federales.
- 3.- Facilitar la introducción de nuevos productos, métodos y tecnologías aplicables a la conservación de carreteras.
- 4.- Promover el desarrollo de empresas nacionales especializadas en conservación de infraestructura vial.
- 5.- Incluir para efectos de pago el cumplimiento de estándares del desempeño.

Las etapas en las que se divide el CPCC son las siguientes (Dirección General de Conservación de Carreteras, 2012):

### **1.- Etapa preparatoria**

Etapa en la que el Contratista tendrá que contar con los recursos humanos y materiales, así como realizar las actividades necesarias para recibir cada uno de los tramos del paquete carretero. Con duración máxima de 1 mes.

## 2.- Etapa de desarrollo

Etapa en la cual el Contratista deberá realizar los trabajos necesarios para elevar la calidad de servicio de cada uno de los elementos que conforman la infraestructura carretera, y así cumplan con los estándares.

Además, deberá conservar los subtramos donde la calidad de servicio ya cumpla con los estándares. Con duración máxima de 36 meses.

## 3.-Etapa de conservación

Etapa en donde el Contratista deberá ejecutar los trabajos para mantener dentro de los estándares cada uno de los elementos que conforman la infraestructura carretera. Con duración máxima de 46 meses o más.

Los estándares de desempeño que se utilizarán para verificar la calidad de servicio de cada elemento se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Estándares de desempeño.

Elemento	Número de indicadores
Corona (IRI, roderas, resistencia al deslizamiento, baches)	4
Terracerías (derrumbes, deslaves y recargue de taludes)	1
Drenaje (obras menores, complementarias)	2
Señalamiento y dispositivos de seguridad (vertical, horizontal y defensas y barreras)	3
Puentes y estructuras (elementos metálicos y de concreto, drenes, apoyos y juntas, cauces)	3
Funcionalidad del derecho de vía (desmonte y limpieza)	2
Servicios de vialidad (comunicaciones, atención incidencias)	2
Total	17

**FUENTE: Dirección General de Conservación de Carreteras**

En la Figura 18 se identifican los paquetes de CPCC en la República.

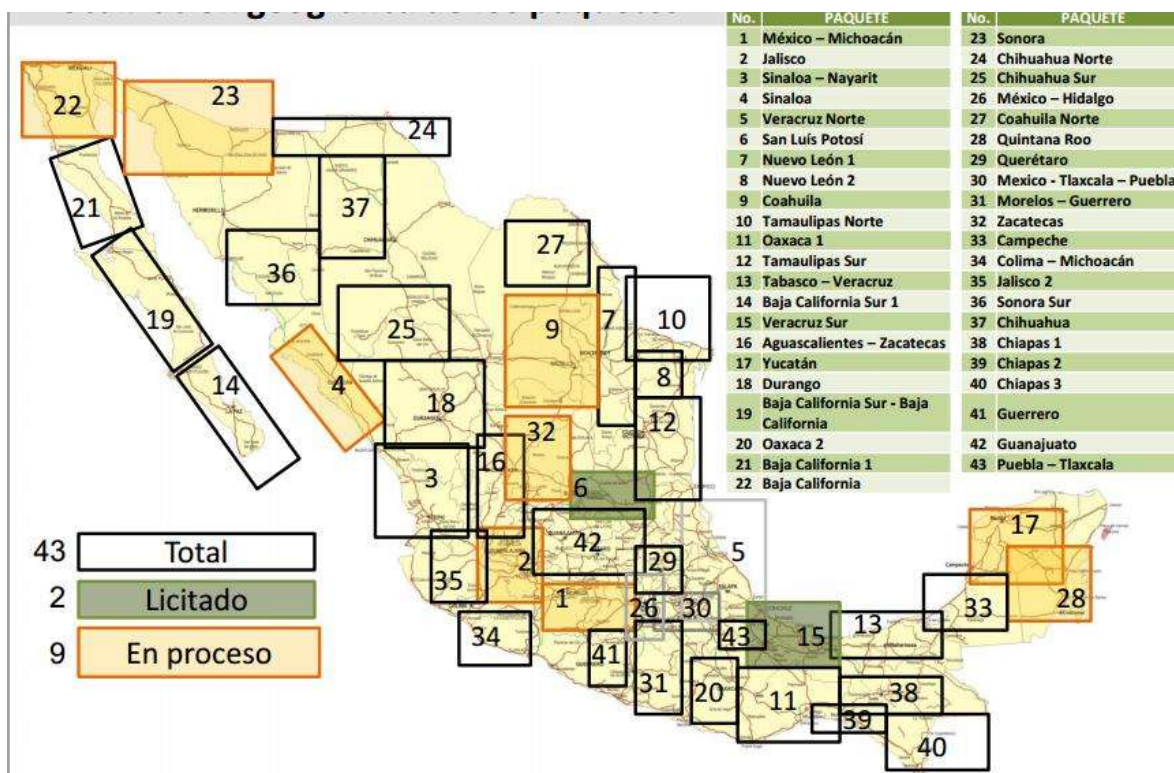


Figura 18. Localización geográfica de paquetes CPCC.

FUENTE: Dirección General de Conservación de Carreteras

Adjudicación del 1er CPCC SLP – Julio 2010.

Adjudicación del 2º CPCC Veracruz Sur – Julio 2011.

Lanzamiento del 3er CPCC México - Michoacán – Septiembre 2011, el cual será el caso práctico para este trabajo (Ver Tabla 11).

Tabla 11. Tramos que comprende el CPCC del estado de Michoacán

Carretera	Tramo	Cadenamiento		Longitud	
		km Inicial	km Final	Lineal	Equival.
Toluca - Morelia	Lím. de Edos. Méx/Mich – Ent. Huajúmbaro	70+200	166+800	63.4	63.9
Huajúmbaro - Celaya	Ent. Huajúmbaro – Ent. Zinapécuaro	0+000	27+000	27	27
Atlacomulco - Morelia	Maravatío - Morelia	81+000	165+000	84	84
Morelia - Salamanca	Morelia – Lím. de Edos. Mich/Gto	2+200	47+100	43.4	74.2
Morelia - Guadalajara	Morelia – Quiroga	10+000	39+200	29.2	33.9
	Quiroga – Carapan	39+200	109+300	66.2	67.4
	Carapan – Zamora	109+300	141+400	32.1	32.1
	Zamora – Jiquilpan	152+000	201+300	49.3	49.3
	Libramiento Zamora	0+000	14+700	14.7	14.7
Zamora - Guadalajara	Zamora – Briseñas – Lím. de Edos. Mich/Jal	5+200	55+900	47.7	47.7
Morelia - Uruapan	Morelia – Pátzcuaro	4+600	50+700	46.1	92.2
	Pátzcuaro - Uruapan	0+000	60+000	58.5	58.5
Morelia - Tepalcatepec	Quiroga – Pátzcuaro (Ent. Tzurumutaro – Pátzcuaro)	18+700	21+600	2.9	2.9
<b>Totales</b>				<b>564.5</b>	<b>647.8</b>

FUENTE: Dirección General de Conservación de Carreteras.

### 3. Marco metodológico

El desarrollo de la metodología se resume en tres partes:

- 1.- Obtención de datos
- 2.- Pre-procesamiento de información
- 3.- Procesamiento de información

A continuación se desarrollará cada una de ellas:

#### 3.1. Obtención de datos

Originalmente los tramos que estarían dentro del análisis son los que se mencionaron en la sección 1.7; sin embargo, no todos se podrán estudiar debida a que sólo se le entregaron a la Residencia General de Conservación de Carreteras del Centro SCT Michoacán, los proyectos de los tramos que se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Tramos en estudio de la región Zamora

Ruta	Carretera	Tramo	Del KM	Al Km	Longitud efectiva
15	MORELIA-GUADALAJARA	Zacapu-Carapan	82+000	109+300	27.3 km.
15	MORELIA-GUADALAJARA	Carapan-Zamora	109+300	141+400	32.1 km.
15	MORELIA-GUADALAJARA	Lib. Norte de Zamora.	0+000	14+700	14.7 km
110	ZAMORA-GUADALAJARA	Vist. Hermosa-Briseñas	46+000	55+900	9.9 km
				<b>Total:</b>	<b>84 km</b>

**FUENTE: Contrato Plurianual de Conservación de Carreteras.**

Cabe mencionar que los datos que se tomaron para la elaboración de este trabajo corresponden al año 2012, ya que la información que proporcionó la Secretaría de Comunicaciones y Transportes fue del año 2012, por lo que el programa de trabajos se desfasa un año.

Antes de empezar con la obtención de información, se verificaron algunas especificaciones del contrato; el uso de la metodología HDM-4 o una 100% compatible con esta, la información necesaria para alimentar dicha metodología, criterios de aceptación y criterio de vida remanente (Ver Figura 19 a Figura 21).

#### 4.1.1.1. Sistema de Administración de Pavimentos.

Para el manejo de la información, el Contratista deberá diseñar e implementar una base de datos referenciada por Tramo y kilometraje, con todos los resultados determinados en campo para los Subtramos en que se divide el Paquete Carretero, establecidos por la Dependencia en el Proyecto de Referencia en función del tránsito, IRI, roderas, coeficiente de fricción ( $\mu$ ), deflexiones y porcentaje de las áreas afectadas, de acuerdo a la cuantificación de los deterioros del pavimento. Dicha base de datos deberá adecuarse al sistema que emplea la Dependencia (HDM-4 o algún sistema similar 100% compatible), para una correcta integración de la información.

El sistema HDM-4 que actualmente utiliza la Dependencia presenta la siguiente arquitectura:

- a) Manejo de Datos: compuesto por módulos de configuración, estrategias de intervención, flota vehicular y red de carreteras.
- b) Análisis de datos: compuesto por módulos de proyecto, programa y estrategia.
- c) Modelos: compuestos por los modelos RDWE (Deterioro y Defecto de los Trabajos), RUE (Efecto del uso de la carretera), SEE (Seguridad, Energía y Efectos ambientales), PMS (Sistema de Administración de Pavimentos).

En particular, las actividades a realizar por parte del Contratista están relacionadas con la alimentación, verificación y actualización del manejo de información (base de datos) del Sistema de Administración de Pavimentos de la Dependencia, con referencia a los datos determinados en las mediciones y trabajos de campo para cada uno de los Subtramos, con el fin de administrar, en conjunto con ella, la información referente al Paquete Carretero. A continuación se detalla la información que alimenta la base de datos del Sistema de Administración de Pavimentos, que corresponde a las actividades a realizar por parte del Contratista.

**Condición del pavimento:** En este apartado se definen los datos relativos a la estructura del pavimento, en función de los deterioros que se presenten, según el tipo de pavimento. A partir de estos datos ingresados, el programa genera las curvas de deterioro, las cuales simulan el comportamiento a futuro del pavimento. Con este fin, el Contratista deberá realizar las siguientes actividades:

- a) Inventario de deterioros en el pavimento. A efecto de definir el estado superficial de la carretera, se deberá realizar el inventario detallado de los deterioros presentes en el pavimento, describiendo su tipo, extensión y gravedad, con el fin de determinar los porcentajes de área afectada por cada tipo de deterioro. Igualmente se determinará la extensión y gravedad de las roderas presentes según las consideraciones y el procedimiento de inspección descrito en el punto 4.3.1.1. y la Especificación Particular E.P.I.02.
- b) Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y del Coeficiente de Fricción ( $\mu$ ), según las consideraciones y procedimientos de inspección descritos en el punto 4.3.1.1. y las Especificaciones Particulares E.P.I.01 y E.P.I.03.

Por su parte, la Dependencia y el Contratista efectuarán mediciones de deflexión, con sondeos complementarios en la estructura existente del pavimento en caso necesario, que permitan evaluar de forma no destructiva el comportamiento estructural del mismo y, por medio de procesos conocidos como retrocálculo de variables, determinar los módulos elásticos de cada una de las capas que conforman dicha estructura del pavimento. Así mismo, conociendo otras variables, como los espesores de cada capa del pavimento, será posible determinar la capacidad estructural en términos del número estructural efectivo. El Contratista realizará esta actividad y suministrará a la Dependencia el resultado de las mediciones efectuadas, con el objetivo de que ambos puedan dar un seguimiento al deterioro de la capacidad estructural del pavimento y llevar un registro, para programar las acciones correctivas oportunamente. Adicionalmente la Dependencia suministrará al Contratista los datos referentes al tránsito vehicular, datos climatológicos de la zona, parámetros técnicos y geométricos de la vía para ser analizados y evaluados por él, ya que son parte de la base de la gestión que ejecutará el sistema.

**Estructura del pavimento:** En este apartado se deben registrar las características estructurales y la historia del pavimento, en función del tipo de estructura que se tenga. Los valores a ingresar corresponden al material superficial (tipo, espesor de la capa más reciente, espesor de capas antiguas o previas, etc.), a la información histórica de construcción e intervenciones, así como los parámetros estructurales obtenidos durante las acciones de conservación previas que haya ejecutado la Dependencia y/o el Contratista. El Contratista deberá llevar el registro de los cambios en los espesores del pavimento, ajustados por intervenciones por él realizadas, así como la programación de la ejecución de dichos Trabajos.

Figura 19. Especificaciones sobre el uso de HDM-4 y la información requerida.

**FUENTE: Contrato Plurianual de Conservación de Carreteras.**

A partir de la información del diagnóstico superficial y estructural del pavimento alimentado a la base de datos del Sistema, se realizará la evaluación de su estado físico, pronosticando el deterioro del pavimento representado en las curvas de degradación (ver figura anexa), basados en los rangos de los indicadores que se establecen enseguida.

RANGO	IRI (m/km)	PROF. RODERAS (mm)	COEF. FRICCIÓN (μ)	DEFLEXIONES (mm)
1	≤ 2.5	≤ 15	0.4 – 0.8	≤ 0.5
2	2.5 – 4.6	15 – 25	< 0.4	0.5 – 0.8
3 y 4	≥ 4.6	≥ 25	> 0.8	≥ 0.8

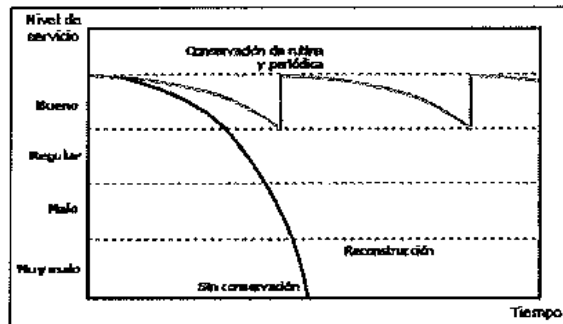


Figura 20. Especificación de umbrales.

**FUENTE: Contrato Plurianual de Conservación de Carreteras.**

#### 4.3.3. Requerimientos Aplicables a la Devolución del Paquete Carretero.

En la Fecha de Terminación del Contrato en que el Contratista hará la Devolución a la Dependencia del Paquete Carretero, la infraestructura de éste deberá cumplir por lo menos con los siguientes requerimientos técnicos:

##### Pavimentos

La estructura de los pavimentos del Paquete Carretero, deberá tener desde el punto de vista del Sistema de Administración de Pavimentos una vida residual o vida útil remanente mayor o igual a 5 años, cumpliendo a lo largo de dicho plazo con los siguientes requerimientos.

- a) En la totalidad de la longitud de cada Subtramo del Paquete Carretero se deberá tener un índice representativo de IRI menor a 2.5 m/km;
- b) Todos los Tramos y Subtramos del Paquete Carretero deberán tener un índice de resistencia a la fricción ( $\mu$ ) mayor a 0.4 y menor a 0.8 (en condiciones húmedas del pavimento);
- c) En toda la longitud de cada carril unidireccional o el carril de baja velocidad en Subtramos de dos (2) o más carriles por sentido, se deberá tener una profundidad representativa de roderas menor a 15 mm, determinadas en secciones a cada [**50**] m.

La vida residual del pavimento del Paquete Carretero será determinada a partir de la capacidad estructural evaluada por deflexiones; la Dependencia y el Contratista realizarán dichas mediciones, para su análisis y consenso del resultado.

Figura 21. Especificación de vida remanente.

**FUENTE: Contrato Plurianual de Conservación de Carreteras.**

La información necesaria para el desarrollo de este trabajo será de carácter, tanto primario como secundario.

Con respecto al carácter primario, la información que será proporcionada por parte de la Residencia General de Conservación de Carreteras del Centro SCT Michoacán y la Dirección General de Servicios Técnicos, esta es resultado de pruebas de campo y datos de laboratorio. La información que no pudo ser conseguida fue necesario ir a los tramos a obtenerla.

La información secundaria se obtendrá de fuentes bibliográficas disponibles en bibliotecas nacionales o extranjeras, Planes Nacionales de Desarrollo, Anuarios Estadísticos de Carreteras, publicaciones técnicas del Instituto Mexicano del Transporte, mapas de INEGI y archivos recopilados por docentes en la rama de las vías terrestres e ingenieros que laboran dentro del ámbito de las carreteras.

La información obtenida es la siguiente:

### 3.1.1. Tramo Zacapu - Carapan.

Este tramo inicia en el Km 82+000 y termina en el Km 109+300, formando parte de la Carretera Federal MEX-015 Morelia – Jiquilpan. Se encuentra en la parte Norte del estado de Michoacán, abarcando 27.3 Km entre ambas ciudades, pasando por localidades como Col. Eréndira, Las Cabras, El Pueblito y Los Llanos.

En la Figura 22 se observa el inicio del tramo, y en la Figura 23 el término de éste.



Figura 23. Inicio del tramo Zac.-Car.



Figura 22. Fin del tramo Zac.-Car.

#### 3.1.1.1. Estructura del camino

Conocer la estructura del camino nos ayuda a identificar los espesores de capa y el tipo de material con el que se construyeron dichas capas. Las capas que conforman el camino del Km 81+00 al Km 93+000 se presentan en la Figura 24 y en la Tabla 13 se muestran sus respectivos espesores y valores de VRS.

Tabla 13. Espesores y VRS de Zac.-Car. 82-93

Tramo Zacapu - Carapan del Km 82+000 al Km 93+000		
Capa	Espesor	V.R.S. (%)
Carpeta asfáltica	11	
Base hidráulica	20	80
Subrasante	40	51
Terreno natural	Semi-inf	8

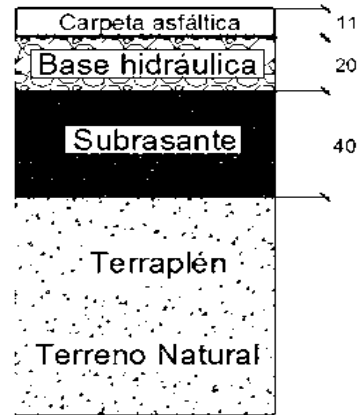


Figura 24. Estructura del camino de Zac.-Car. 82-93

FUENTE: Contratistas.

Las capas que conforman el camino del Km 93+00 al Km 99+000 se presentan en la Figura 25 y en la Tabla 14 se muestran sus respectivos espesores y valores de VRS.

Tabla 14. Espesores y VRS de Zac.-Car. 93-99

Tramo Zacapu - Carapan del Km 93+000 al Km 99+000		
Capa	Espesor	V.R.S. (%)
Carpeta asfáltica	15	
Base hidráulica	18	98
Subrasante	40	65
Terreno natural	Semi-inf	16

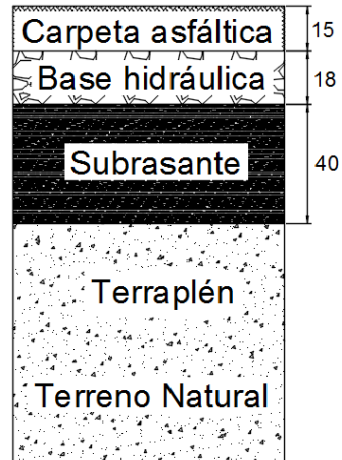


Figura 25. Estructura del camino de Zac.-Car. 93-99

FUENTE: Contratistas.

Del Km 99+000 al Km 109+300 no se tiene información de la estructura del camino, así que se tomó la misma estructura que se tiene en el subtramo del Km 93+000 al Km 99+000.

En la Tabla 15 se presentan los años en que se realizaron trabajos previos.

Tabla 15. Trabajos previos Zac.-Car.

Trabajos previos				
Secciones homogéneas	Reconstrucción	Rehabilitación (Sobrecarpeta)	Tratamiento superficial (Sello)	Tratamiento preventivo
Zac-Car,82+000-85+000	2006	2006	2006	2006
Zac-Car,85+000-93+000	2006	2006	2006	2006
Zac-Car,93+000-94+000	2004	2004	2004	2004
Zac-Car,94+000-101+000	2004	2004	2004	2004
Zac-Car,101+000-104+000	2004	2004	2004	2004
Zac-Car,104+000-105+020	2004	2004	2004	2004
Zac-Car,105+020-107+000	2004	2004	2004	2004
Zac-Car,107+000-109+300	2004	2004	2004	2004

### 3.1.1.2. Geometría

De acuerdo al tipo de terreno, se definió que el tramo está en una zona de lomerío fuerte.

Ya que no se contaba con la información de grados de curvatura de algunas curvas horizontales y los tipos de secciones a lo largo del tramo, se llevaron a cabo diversas medidas en el tramo.

De acuerdo con el proyecto entregado a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, el ancho de corona promedio es de 7.6 m, sin acotamiento. Ya que se decidió medir el grado de curvatura y observar el tipo de sección, se midieron algunos anchos de corona para corroborar los reportados.

\*Anchos de corona medidos (Ver Tabla 16)

Tabla 16. Anchos de corona Zac.-Car.

Anchos de corona del tramo Zacapu - Carapan	
Km	A. de corona (m)
83+000	8.6
88+000	6.9
93+000	7.4
98+000	7.7
103+000	7.4
108+000	7.2

Con ayuda del Google Earth y recorridos en el tramo, de la Figura 26 a la Figura 29 se identifican las curvas que se consideran peligrosas y se registraron algunos grados de curvatura en la Tabla 17 junto con otras que se tomaron al azar.



Figura 26. Curvas 1 Zac.-Car.

FUENTE: Google Earth.



Figura 27. Curvas 2 Zac.-Car.

FUENTE: Google Earth.

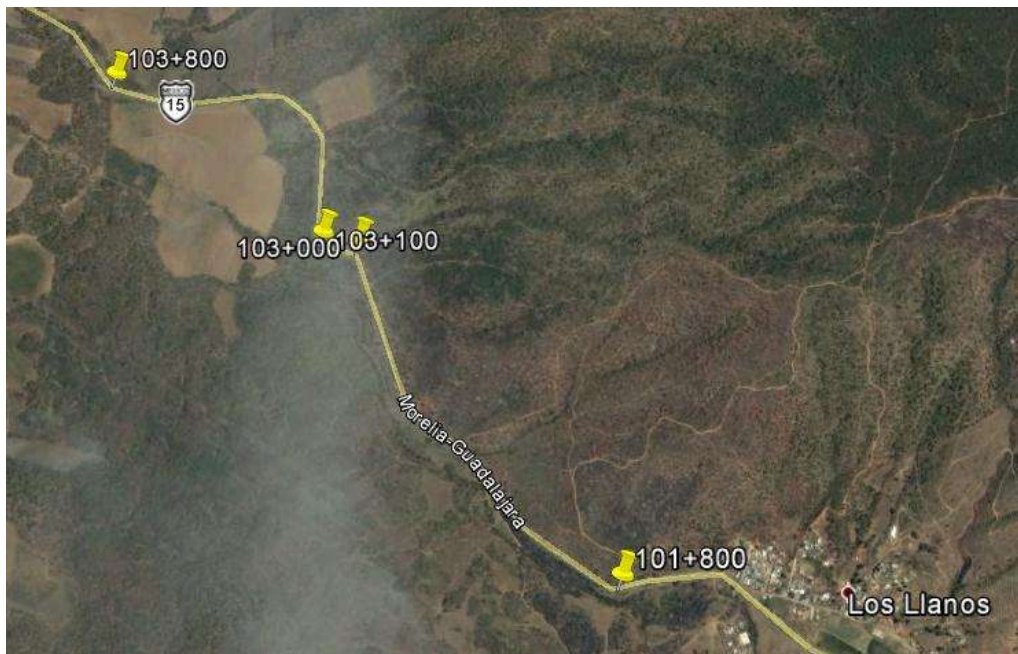


Figura 28. Curvas 3 Zac.-Car.

FUENTE: Google Earth.



Figura 29. Curvas 4 Zac.-Car.

FUENTE: Google Earth.

Tabla 17. Grados de curvatura Zac.-Car.

Grados de curvatura del tramo Zacapu - Carapan		
No. de curva	Km	Gc (°)
4	84+300	7.0
6	88+100	5.5
7	91+700	4.5
14 (Peligrosa)	95+100	17
20 (Peligrosa)	101+800	11
23 (Peligrosa)	103+800	11
27 (Peligrosa)	109+100	26

\*Tipo de sección (Ver Tabla 18).

Tabla 18. Tipos de secciones Zac.-Car.

Tipos de secciones del tramo Zacapu - Carapan		
Km	Tipo de sección	
	Izq.	Der.
82+000	Terraplén	Corte
83+000	Terraplén	Corte
84+000	Terraplén	Corte
85+000	Terraplén	Corte
86+000	Corte	Terraplén
87+000	Terraplén	Terraplén
88+000	Terraplén	Terraplén
89+000	Terraplén	Terraplén
90+000	Terraplén	Corte
91+000	Terraplén	Terraplén
92+000	Terraplén	Terraplén
93+000	Corte	Terraplén
94+000	Terraplén	Corte
95+000	Terraplén	Terraplén

96+000	Terraplén	Terraplén
97+000	Terraplén	Corte
98+000	Terraplén	Corte
99+000	Terraplén	Corte
100+000	Terraplén	Terraplén
101+000	Terraplén	Terraplén
102+000	Terraplén	Corte
103+000	Terraplén	Corte
104+000	Corte	Terraplén
105+000	Corte	Terraplén
106+000	Terraplén	Terraplén
107+000	Corte	Terraplén
108+000	Corte	Terraplén
109+000	Corte	Terraplén
109+300	Corte	Terraplén

Con ayuda del programa Google Earth se obtuvo el perfil longitudinal del camino, del cual se tomaron las pendientes longitudinales (Ver Figura 30).

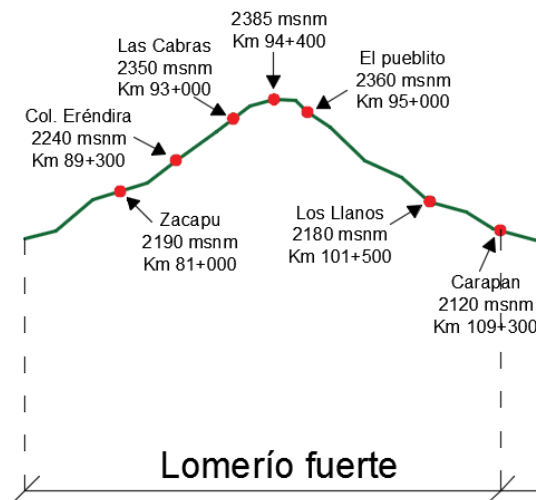


Figura 30. Perfil longitudinal Zac.-Car.

### 3.1.1.3. Tránsito

El análisis del tránsito es de gran importancia ya que representa las cargas a las cuales estará sujeto el camino. Ante esto se tuvo que recolectar información de los aforos realizados por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (DGST), de los cuales se obtuvo Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) y la clasificación vehicular de cada tramo en estudio.

En lo que se refiere al TDPA, con ayuda de la metodología desarrollada por el M.C. José Ricardo Solorio Murillo para la obtención del volumen, composición y tasa de crecimiento del tránsito, se elaboró un larguillo con datos recolectados y se obtuvieron los volúmenes de tránsito representativos de cada subtramo (Ver Figura 31).

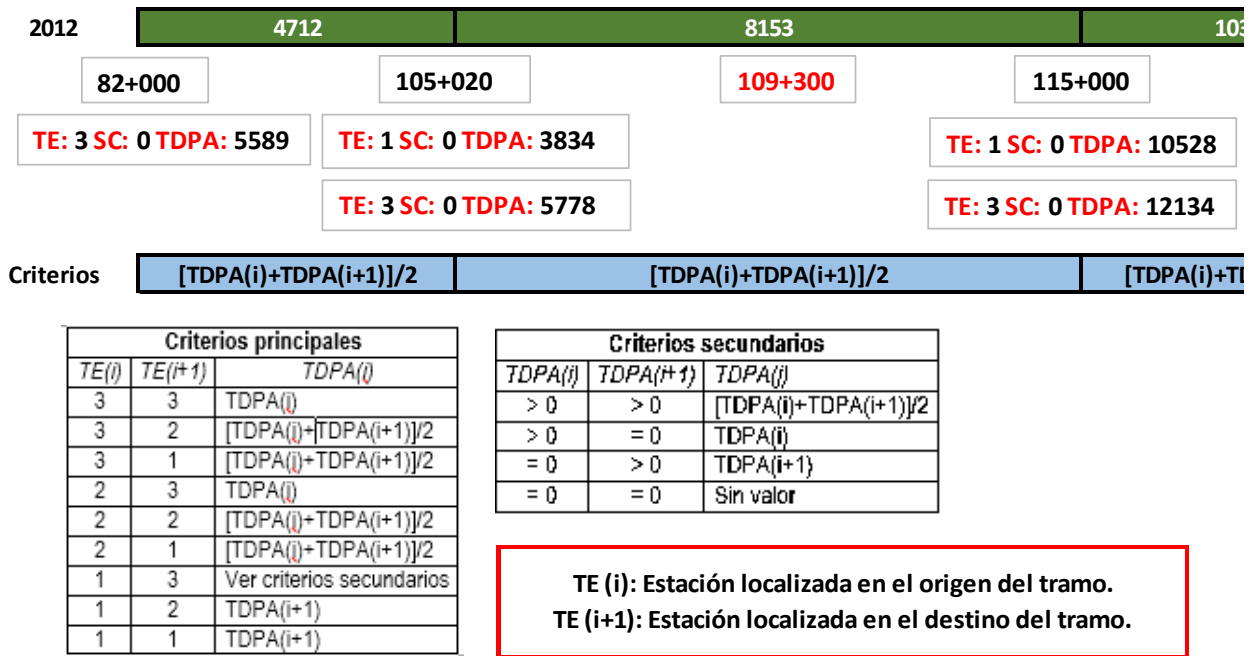


Figura 31. TDPA representativo de Zac.-Car.

La clasificación vehicular que se obtuvo de la DGST es la presentada en la Tabla 19.

Tabla 19. Clasificación vehicular Zac.-Car.

Clasificación vehicular		
Clasificación	Tramos	
	Zac.-Car. (Km 82+000 al 105+020)	Zac.-Car. (Km 105+020 al 109+300)
A	81.6	83.6
B3	0.8	1.3
C2	11	5.4
C3	2.1	2.6
T3S2	3	4.2
T3S3	0.9	1.6
T3S2R4	0.2	0.5
Otros	0.4	0.8

FUENTE: Dirección General de Servicios Técnicos

A la tabla anterior se le hacen ligeras modificaciones, ya que los porcentajes de la clasificación de otros se reparte entre los vehículos pesados (B3, C2, C3, T3S2, T3S3 y T3S2R4). Atendiendo lo anterior, en la Tabla 20 se muestran las modificaciones realizadas.

Tabla 20. Clasificación vehicular modificada Zac.-Car.

Clasificación vehicular		
Clasificación	Tramos	
	Zac.-Car. (Km 82+000 al 105+020)	Zac.-Car. (Km 105+020 al 109+300)
A	81.6	83.6
B3	0.9	1.4
C2	11.2	5.6
C3	2.1	2.7
T3S2	3.1	4.4
T3S3	0.9	1.7
T3S2R4	0.2	0.6

Teniendo definidos los valores representativos del TDPA, se pasó a calcular la tasa de crecimiento con la misma metodología presentada en el documento técnico para la obtención del volumen, composición y tasa de crecimiento del tránsito. Los resultados se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Tasas de crecimiento Zac.-Car.

Tramo	CadIni	CadFin	SC	TDPA					r (%)	R2	Siempre creciente
				2010	2011	2012	2013	2014			
Zac.-Car. (Km 82+000 al 105+020)	82+000	105+020	0	5519	3628	4712	4737	4632	-0.83	0.0077	FALSO
Zac.-Car. (Km 105+020 al 115+000)	105+020	115+000	0	8310	8178	8153	8213	7804	-1.21	0.6405	FALSO

Obtención de los parámetros de regresión										
	Año					m	b	R2	TDPA <sub>0</sub>	r(%)
	0	1	2	3	4					
	In (TDPA)	8.6160	8.1964	8.4579	8.4632	8.4407	-0.0084	8.4516	0.0077	4682
	9.0252	9.0092	9.0061	9.0135	8.9624	-0.0121	9.0276	0.6405	8330	-1.21

A continuación de la Figura 32 a la Figura 33 se presentan los puntos aforadores.



Figura 32. Estación aforadora 77+000 Zac.-Car.



Figura 33. Estación aforadora 105+020 Zac.-Car.

### 3.1.1.4. Clima

Las zonas climáticas que se presentan en el estado de Michoacán se muestran en la Figura 34.



Figura 34. Zonas climáticas del estado de Michoacán.

**FUENTE: Blog spot Vive Michoacán.**

En México el clima está determinado por varios factores: altitud sobre el nivel del mar, la latitud geográfica, condiciones atmosféricas y distribución existente de tierra y agua.

Con base a la diversidad de climas, estos pueden clasificarse según su temperatura (cálido y templado) y humedad (húmedo, subhúmedo y muy seco).

El clima que se tiene en la zona donde se encuentra el tramo es templado subhúmedo con lluvias en verano (Ver Figura 35).



Figura 35. Clima de Zac.-Car.

**FUENTE: CONAGUA.**

De la estación climatológica 00016240 El Pueblito, Zacapu (Ver Figura 36), se obtuvieron los valores de temperatura media de 1981-2010 y precipitación media mensual de 1981-2007; estos valores son presentados en la Tabla 22.



Figura 36. Estación climatológica 00016240 El Pueblito, Zacapu

Tabla 22. Valores de temperatura media y precipitación mensual Zac.-Car.

Datos climatológicos del tramo Zacapu-Carapan	
Parámetro	Valor
Temperatura media (°C)	16.7
Precipitación media mensual (mm)	78.5

FUENTE: CONAGUA.

### 3.1.1.5. Deflexiones

La medición de las deflexiones se realizó a 700 KPa con el deflectómetro de impacto (HWD) a cada 1000 m. En la Tabla 23 se presentan los resultados de la medición.

Tabla 23. Deflexiones de Zac.-Car.

DEFLEXIONES NORMALIZADAS A 700 kPa, en mm.										
Ruta	Clave de carretera	km inicial	km final	δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7
MX-015	16029	82+000	83+000	2.174	1.703	1.432	1.185	0.769	0.466	0.181
MX-015	16029	83+000	84+000	0.589	0.395	0.295	0.217	0.131	0.085	0.054
MX-015	16029	84+000	85+000	0.571	0.382	0.277	0.204	0.113	0.072	0.051
MX-015	16029	85+000	86+000	0.914	0.582	0.435	0.321	0.169	0.098	0.048
MX-015	16029	86+000	87+000	0.563	0.36	0.266	0.205	0.124	0.08	0.053
MX-015	16029	87+000	88+000	0.606	0.397	0.3	0.229	0.125	0.074	0.041
MX-015	16029	88+000	89+000	0.841	0.601	0.459	0.358	0.247	0.177	0.131
MX-015	16029	89+000	90+000	0.645	0.424	0.327	0.259	0.157	0.099	0.068
MX-015	16029	90+000	91+000	0.632	0.436	0.328	256	0.144	0.071	0.052
MX-015	16029	91+000	92+000	0.804	0.558	0.432	0.341	0.205	0.131	0.086
MX-015	16029	92+000	93+000	0.577	0.406	0.322	0.261	0.169	0.109	0.077
MX-015	16029	93+000	94+000	0.8	0.588	0.476	0.394	0.252	0.16	0.097
MX-015	16029	94+000	95+000	0.723	0.498	0.37	0.32	0.219	0.168	0.122
MX-015	16029	95+000	96+000	1.235	0.881	0.64	0.493	0.281	0.18	0.138
MX-015	16029	96+000	97+000	1.088	0.774	0.606	0.477	0.26	0.132	0.083
MX-015	16029	97+000	98+000	1.833	1.368	1.109	0.931	0.593	0.341	0.177
MX-015	16029	98+000	99+000	1.848	1.34	1.06	0.842	0.491	0.279	0.175
MX-015	16029	99+000	100+000	0.762	0.425	0.301	0.24	0.125	0.07	0.04
MX-015	16029	100+000	101+000	1.728	1.248	1.019	0.86	0.607	0.421	252
MX-015	16029	101+000	102+000	1.303	0.935	0.75	0.623	0.411	0.269	0.2
MX-015	16029	102+000	103+000	1.369	0.921	0.69	0.529	0.294	0.195	0.125
MX-015	16029	103+000	104+000	1.778	1.312	1.08	0.897	0.554	0.36	0.094
MX-015	16029	104+000	105+000	0.885	0.618	0.477	0.388	0.236	0.157	0.093
MX-015	16029	105+000	106+000	1.003	0.716	0.58	0.477	0.325	0.227	0.152
MX-015	16029	106+000	107+000	1.675	1.179	0.931	0.767	0.478	0.311	0.128
MX-015	16029	107+000	108+000	1.13	0.754	0.584	0.447	0.248	0.189	0.103
MX-015	16029	108+000	109+000	0.807	0.492	0.32	0.227	0.113	0.06	0.003
MX-015	16029	109+000	109+300	0.744	0.557	0.436	0.351	0.226	0.141	0.07

FUENTE: Contratistas.

Para el propósito de este trabajo se utilizará el valor de deflexión medido en el plato ( $\delta_1$ ), ya que éste genera la mayor deflexión (Ver Tabla 24).

Tabla 24. Deflexiones del plato Zac.- Car.

Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	Deflexión ( $\delta_1$ )
MX-015	16029	82+000	83+000	2.174
MX-015	16029	83+000	84+000	0.589
MX-015	16029	84+000	85+000	0.571
MX-015	16029	85+000	86+000	0.914
MX-015	16029	86+000	87+000	0.563
MX-015	16029	87+000	88+000	0.606
MX-015	16029	88+000	89+000	0.841
MX-015	16029	89+000	90+000	0.645
MX-015	16029	90+000	91+000	0.632
MX-015	16029	91+000	92+000	0.804
MX-015	16029	92+000	93+000	0.577
MX-015	16029	93+000	94+000	0.8
MX-015	16029	94+000	95+000	0.723
MX-015	16029	95+000	96+000	1.235
MX-015	16029	96+000	97+000	1.088
MX-015	16029	97+000	98+000	1.833
MX-015	16029	98+000	99+000	1.848
MX-015	16029	99+000	100+000	0.762
MX-015	16029	100+000	101+000	1.728
MX-015	16029	101+000	102+000	1.303
MX-015	16029	102+000	103+000	1.369
MX-015	16029	103+000	104+000	1.778
MX-015	16029	104+000	105+000	0.885
MX-015	16029	105+000	106+000	1.003
MX-015	16029	106+000	107+000	1.675
MX-015	16029	107+000	108+000	1.13
MX-015	16029	108+000	109+000	0.807
MX-015	16029	109+000	109+300	0.744

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.1.6. Profundidad de roderas

Los valores de profundidad de roderas medidos se observan en la Tabla 25, para obtenerlos se utilizó el perfilómetro láser en subtramos de 1000 m.

Tabla 25. Profundidad de roderas Zac.-Car.

Profundidad de rodera				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	Prof. Rodera
MX-015	16029	82+000	83+000	5.3
MX-015	16029	83+000	84+000	3.7
MX-015	16029	84+000	85+000	3.2
MX-015	16029	85+000	86+000	3.7
MX-015	16029	86+000	87+000	2.1
MX-015	16029	87+000	88+000	2.1
MX-015	16029	88+000	89+000	1.9
MX-015	16029	89+000	90+000	1.8
MX-015	16029	90+000	91+000	1.7
MX-015	16029	91+000	92+000	2.1
MX-015	16029	92+000	93+000	2.1
MX-015	16029	93+000	94+000	2.3
MX-015	16029	94+000	95+000	4.6
MX-015	16029	95+000	96+000	4.5
MX-015	16029	96+000	97+000	3
MX-015	16029	97+000	98+000	4.1
MX-015	16029	98+000	99+000	5.1
MX-015	16029	99+000	100+000	4.3
MX-015	16029	100+000	101+000	3.3
MX-015	16029	101+000	102+000	3.5
MX-015	16029	102+000	103+000	3.4
MX-015	16029	103+000	104+000	3.8
MX-015	16029	104+000	105+000	3.4
MX-015	16029	105+000	106+000	3.1
MX-015	16029	106+000	107+000	3.8
MX-015	16029	107+000	108+000	3.5
MX-015	16029	108+000	109+000	2.9
MX-015	16029	109+000	109+300	3.2

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.1.7. IRI

Los valores de IRI medidos se observan en la Tabla 26, para obtenerlos se utilizó el perfilómetro láser en subtramos de 1000 m.

Tabla 26. IRI Zac.-Car.

Índice Internacional de Regularidad				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	IRI
MX-015	16029	82+000	83+000	4.25
MX-015	16029	83+000	84+000	2.92
MX-015	16029	84+000	85+000	2.23
MX-015	16029	85+000	86+000	1.67
MX-015	16029	86+000	87+000	1.83
MX-015	16029	87+000	88+000	1.54
MX-015	16029	88+000	89+000	1.63
MX-015	16029	89+000	90+000	5.19
MX-015	16029	90+000	91+000	1.67
MX-015	16029	91+000	92+000	1.88
MX-015	16029	92+000	93+000	1.53
MX-015	16029	93+000	94+000	3.1
MX-015	16029	94+000	95+000	4.24
MX-015	16029	95+000	96+000	3.37

MX-015	16029	96+000	97+000	2.39
MX-015	16029	97+000	98+000	2.53
MX-015	16029	98+000	99+000	2.31
MX-015	16029	99+000	100+000	3.05
MX-015	16029	100+000	101+000	2.63
MX-015	16029	101+000	102+000	2.59
MX-015	16029	102+000	103+000	3.34
MX-015	16029	103+000	104+000	3.54
MX-015	16029	104+000	105+000	5.82
MX-015	16029	105+000	106+000	4.55
MX-015	16029	106+000	107+000	3.11
MX-015	16029	107+000	108+000	2.65
MX-015	16029	108+000	109+000	1.95
MX-015	16029	109+000	109+300	3.1

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.1.8. Resistencia al deslizamiento

Los valores de resistencia a deslizamiento medidos y su comportamiento se observan en la Tabla 27, para obtenerlos se utilizó el Mu Meter MK 6 en subtramos de 1000 m.

Tabla 27. Resistencia al deslizamiento Zac.-Car.

Resistencia al deslizamiento				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	Rest. Desliz.
MX-015	16029	82+000	83+000	0.63
MX-015	16029	83+000	84+000	0.63
MX-015	16029	84+000	85+000	0.59
MX-015	16029	85+000	86+000	0.62
MX-015	16029	86+000	87+000	0.61
MX-015	16029	87+000	88+000	0.58
MX-015	16029	88+000	89+000	0.58
MX-015	16029	89+000	90+000	0.59
MX-015	16029	90+000	91+000	0.56
MX-015	16029	91+000	92+000	0.54
MX-015	16029	92+000	93+000	0.56
MX-015	16029	93+000	94+000	0.53
MX-015	16029	94+000	95+000	0.56

MX-015	16029	95+000	96+000	0.62
MX-015	16029	96+000	97+000	0.58
MX-015	16029	97+000	98+000	0.53
MX-015	16029	98+000	99+000	0.54
MX-015	16029	99+000	100+000	0.56
MX-015	16029	100+000	101+000	0.54
MX-015	16029	101+000	102+000	0.57
MX-015	16029	102+000	103+000	0.57
MX-015	16029	103+000	104+000	0.51
MX-015	16029	104+000	105+000	0.55
MX-015	16029	105+000	106+000	0.49
MX-015	16029	106+000	107+000	0.28
MX-015	16029	107+000	108+000	0.28
MX-015	16029	108+000	109+000	0.28
MX-015	16029	109+000	109+300	0.28

FUENTE: Contratistas

### 3.1.1.9. Deterioros

De acuerdo con el levantamiento de deterioros realizado sobre la superficie de rodadura, en la Tabla 28 se muestran los porcentajes correspondientes a cada deterioro observado.

Tabla 28. Deterioros Zac.-Car.

Ubicación		Deterioros													Estado físico	Observaciones
		Rodera	Asent. Trans.	Asent.	Agriet. Long.	Agriet. Trans.	Piel cocod.	Agriet. T. Mapa	Baches	Erosión Long. C.	Abult.	Desp. Borde	Exceso Asfalto	Calav.		
Km inicial	Km final	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
81+000	85+000	50	5	32	25	15	35	30	27	0	17	10	0	35	No satisfactorio	
85+000	93+000	7	0	0	20	17	12	30	6	0	0	5	0	5	Satisfactorio	
93+000	101+500	35	27	13	30	35	50	60	65	12	12	6	12	55	No satisfactorio	
101+500	105+000	35	27	13	30	35	50	10	65	12	12	6	12	55	No satisfactorio	
105+000	109+300	35	5	13	30	30	45	10	50	12	12	6	12	55	No satisfactorio	

FUENTE: Residencia General de Conservación de Carreteras Morelia.

De los deterioros inventariados, los que se ingresarán en el programa para representar la condición actual del pavimento son los siguientes:

#### 1.- Agrietamiento total estructural (ACA) y el agrietamiento estructural ancho (ACW)

Para obtener el ACA es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Tomar el total de piel de cocodrilo.
- b) Si la diferencia entre el agrietamiento tipo mapa y el de piel de cocodrilo es mayor a 0, se suma con el de piel de cocodrilo, y si no, sólo se toma el tipo piel de cocodrilo.
- c) Si el agrietamiento tipo mapa y el piel de cocodrilo son 0, se toma el agrietamiento longitudinal, si no, sólo se hace caso a la primera consideración.

Ya definido el valor del ACA, se utiliza la Tabla 29 para encontrar los valores de ACW.

Tabla 29. Criterios para ACW.

ACA (%)	ACW (%)
≤ 5	0
5 - 10	5
10 - 20	10
20 - 30	15
> 30	20

En la Tabla 30 se presentan los valores de ACA y ACW, en porcentaje.

Tabla 30. Valores de ACA y ACW Zac.-Car.

Ubicación		Piel cocod.	Agriet. T. Mapa	Agriet. Long.	Primera consideración	Segunda consideración	Agrietamiento estructural total	Agrietamiento estructural ancho
Km inicial	Km final	%	%	%			%	%
81+000	85+000	35	30	25	35	35	35	25
85+000	93+000	12	30	20	30	30	30	15
93+000	101+500	50	60	30	60	60	60	25
101+500	105+000	50	10	30	50	50	50	25
105+000	109+300	45	10	30	45	45	45	25

## 2.- Agrietamiento térmico

Para obtener el agrietamiento térmico sólo se verifica lo siguiente:

- a) Para el agrietamiento térmico se toman los valores de agrietamiento transversal, si el agrietamiento tipo mapa es 0; pero si hay agrietamiento tipo mapa el térmico es 0. También se puede tomar valores de agrietamiento térmico si éste se registra en el inventario.

En la Tabla 31 se presentan los valores del agrietamiento térmico, en porcentaje.

Tabla 31. Valores de agrietamiento térmico Zac.-Car.

Ubicación		Agriet. Trans.	Agriet. T. Mapa	Agriet. Térmico
Km inicial	Km final	%	%	%
81+000	85+000	15	30	0
85+000	93+000	17	30	0
93+000	101+500	35	60	0
101+500	105+000	35	10	0
105+000	109+300	30	10	0

### 3.- Número de baches

Para obtener el número de baches se consulta la Tabla 32, en donde se presenta la relación entre % de baches y el número de baches.

Tabla 32. Criterio para No. de baches por Km Zac.-Car.

Baches (%)	No. de baches / Km
≤ 5	0
5 - 20	5
20 - 30	15
> 30	30

En la Tabla 33 se presentan los valores de número de baches por Km.

Tabla 33. No. de baches Zac.-Car.

Ubicación		Baches	No. de baches
Km inicial	Km final	%	
81+000	85+000	27	15
85+000	93+000	6	5
93+000	101+500	65	30
101+500	105+000	65	30
105+000	109+300	50	30

#### 4.- Rotura de borde

Para obtener la rotura de borde se utiliza la siguiente Ecuación 3:

$$RB = 10 * DB * AC$$

Ecuación 3. Cálculo de rotura de borde.

Donde:

*RB*: Rotura de borde, en m<sup>2</sup>/Km.

*DB*: Desprendimiento de borde, en %.

*AC*: Ancho de calzada, en m.

En la Tabla 34 se presentan los valores de rotura de borde, en m<sup>2</sup>/Km.

Tabla 34. Valores de rotura de borde Zac.-Car.

Ubicación		Desp. Borde	Ancho de calzada	Rotura de borde
Km inicial	Km final	%	m	m <sup>2</sup> /km
81+000	85+000	10	7.6	760
85+000	93+000	5	7.6	380
93+000	101+500	6	7.6	456
101+500	105+000	6	7.6	456
105+000	109+300	6	7.6	456

#### 5.- Desprendimiento de agregados

Para obtener el desprendimiento de borde se toma el porcentaje de calavereo inventariado. Los valores de desprendimiento se presentan en la Tabla 35, en porcentaje.

Tabla 35. Valores de desprendimiento de agregados Zac.-Car.

Ubicación		Calav.	Desprendimiento
Km inicial	Km final	%	%
81+000	85+000	35	35
85+000	93+000	5	5
93+000	101+500	55	55
101+500	105+000	55	55
105+000	109+300	55	55

### 3.1.2. Tramo Carapan - Zamora.

Este tramo inicia en el Km 109+300 y termina en el Km 141+400, formando parte de la Carretera Federal MEX-015 Morelia – Jiquilpan. Se encuentra en la parte Noroccidental del estado de Michoacán, abarcando 32.1 Km entre ambas ciudades, pasando por localidades como Ichán, Huancito, Zopoco, Santo Tomás, Ecachuén, Tanaquillo, Urén, Chilchota, Los Nogales, Tangancícuaro, Canindo y Chaparaco.

En la Figura 37 se observa el inicio del tramo, y en la Figura 38 el término de éste.



Figura 37. Inicio del tramo Car.-Zam.



Figura 38. Fin del tramo Car.-Zam.

### 3.1.2.1. Estructura del camino

Conocer la estructura del camino nos ayuda a identificar los espesores de capa y el tipo de material con el que se construyeron dichas capas. Las capas que conforman el camino del Km 109+300 al Km 120+000 son las que se presentan en la Tabla 36 y la Figura 39, con sus respectivos espesores y valores de VRS.

Tabla 36. Espesores y VRS de Car.-Zam. 109.3 -120

Tramo Carapan - Zamora del Km 109+300 al Km 120+000		
Capa	Espesor	V.R.S. (%)
Carpeta asfáltica	19.5	
Base hidráulica	20.4	87.83
Subbase	15.2	73.1
Subrasante	16.2	67
Terraplén		63.9
Terreno natural		9.98

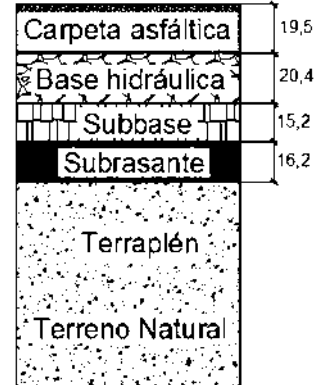


Figura 39. Estructura del camino de Car.-Zam. 109.3-120

FUENTE: Contratistas.

Las capas que conforman el camino del Km 120+000 al Km 131+000 son las que se presentan en la Tabla 37 y la Figura 40, con sus respectivos espesores y valores de VRS.

Tabla 37. Espesores y VRS de Car.-Zam. 120-131

Tramo Carapan - Zamora del Km 120+000 al Km 131+000		
Capa	Espesor	V.R.S. (%)
Carpeta asfáltica	15.5	
Base hidráulica	20.8	89.33
Subbase	12.1	77.39
Subrasante	19.7	63.6
Terraplén		11.96
Terreno natural		10.64

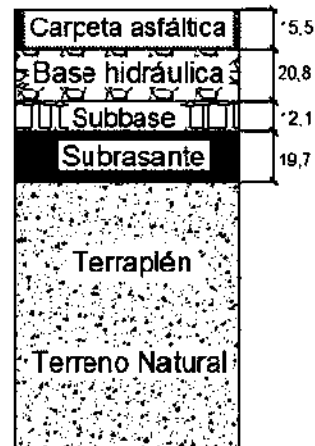


Figura 40. Estructura del camino de Car.-Zam. 120-131

FUENTE: Contratistas.

Las capas que conforman el camino del Km 131+000 al Km 141+400 son las que se presentan en la Tabla 38 y la Figura 41, con sus respectivos espesores y valores de VRS.

Tabla 38. Espesores y VRS de Car.-Zam. 131-141

Tramo Carapan - Zamora del Km 131+000 al Km 141+000		
Capa	Espesor	V.R.S. (%)
Carpeta asfáltica	25.5	
Base hidráulica	19	97.85
Subbase	18.4	81.65
Subrasante	30	77.33
Terraplén		58.2
Terreno natural		4.87

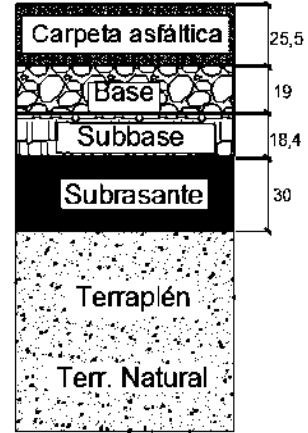


Figura 41. Estructura del camino de Car.-Zam. 131-141

**FUENTE: Contratistas.**

Del Km 141+000 al Km 141+400 no se tiene información de la estructura del camino, así que se tomó la misma estructura que se tiene en el subtramo del Km 93+000 al Km 99+000.

En la Tabla 39 se presentan los años en que se realizaron trabajos previos.

Tabla 39. Trabajos previos Car.-Zam.

Trabajos previos				
Secciones homogéneas	Reconstrucción	Rehabilitación (Sobrecarpeta)	Tratamiento superficial (Sello)	Tratamiento preventivo
Car-Zam,109+300-111+000	1993	2004	2004	2004
Car-Zam,111+000-115+000	1993	2004	2004	2004
Car-Zam,115+000-117+000	1993	2004	2004	2004
Car-Zam,117+000-119+000	1993	2004	2004	2004
Car-Zam,119+000-120+000	1993	2007	2007	2007
Car-Zam,120+000-121+000	1993	2007	2007	2007
Car-Zam,121+000-123+500	1993	2007	2007	2007
Car-Zam,123+500-125+000	1993	2007	2007	2007
Car-Zam,125+000-128+000	1993	2007	2007	2007
Car-Zam,128+000-129+000	1993	2007	2007	2007
Car-Zam,129+000-130+000	1993	2007	2007	2007
Car-Zam,130+000-131+000	1993	2007	2007	2007
Car-Zam,131+000-133+000	1993	2007	2007	2007
Car-Zam,133+000-134+000	1993	2008	2008	2008
Car-Zam,134+000-136+000	1993	2008	2008	2008
Car-Zam,136+000-139+500	1993	2008	2008	2008
Car-Zam,139+500-141+400	1993	2008	2008	2008

FUENTE: Elaboración propia.

### 3.1.2.2. Geometría

De acuerdo al tipo de terreno, se definió que el tramo está en una zona con lomerío suave.

Ya que no se contaba con la información de grados de curvatura de algunas curvas horizontales y los tipos de secciones a lo largo del tramo, se llevaron a cabo diversas medidas en el tramo.

De acuerdo con el proyecto entregado a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, el ancho de corona promedio es de 7.4 m, sin acotamiento, hasta antes de Tangancícuaro, aproximadamente en el Km 133+000, y a partir de esta localidad el ancho de corona promedio es de 12 m con 1.5 m de acotamientos. Ya que se decidió medir el grado de curvatura y observar el tipo de sección, se midieron algunos anchos de corona para corroborar los reportados.

\*Anchos de corona medidos (Ver Tabla 40).

Tabla 40. Anchos de corona Car.-Zam.

Anchos de corona del tramo Carapan - Zamora	
Km	A. de corona (m)
111+000	7.9
116+000	7.66
121+000	7.46
126+000	7.8
131+000	7.5
136+000	10
141+000	10

En lugar de los 12 m se tomarán 10 m, ya que eso fue lo que se midió.

Con ayuda del Google Earth y recorridos en el tramo, de la Figura 42 a la Figura 44 se identifican las curvas que se consideran peligrosas y se registraron algunos grados de curvatura de dichas curvas en la Tabla 41 junto con otras que se tomaron al azar.



Figura 42. Curvas 1 Car.-Zam.

FUENTE: Google Earth.



Figura 43. Curvas 2 Car.-Zam.

FUENTE: Google Earth.

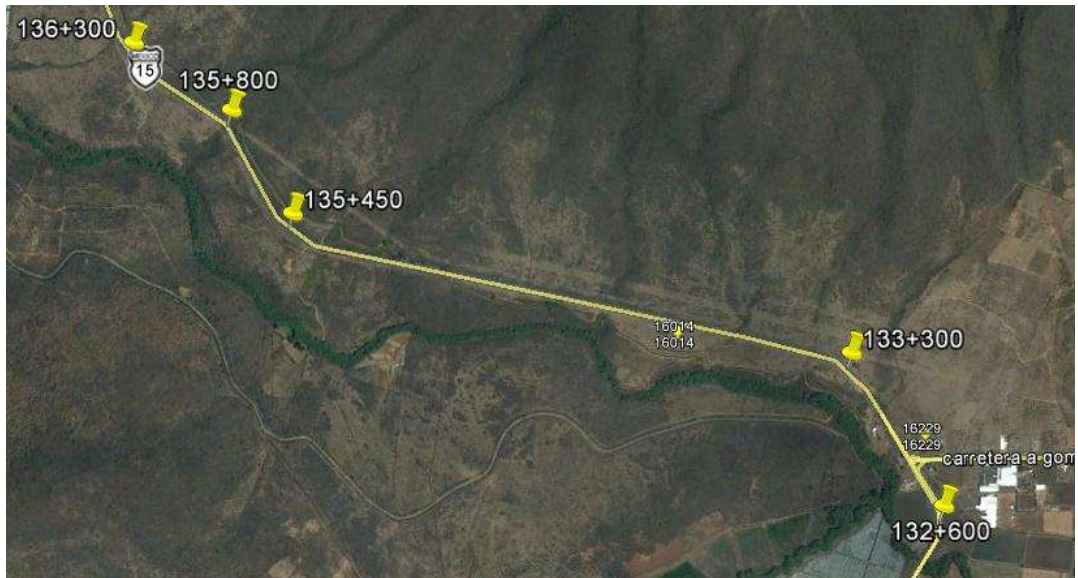


Figura 44. Curvas 3 Car.-Zam.

FUENTE: Google Earth.

Tabla 41. Grados de curvatura Car.-Zam.

Grados de curvatura del tramo Carapan - Zamora		
No. de curva	Km	Gc (°)
1	112+200	7.5
2	116+600	1.7
3 (Peligrosa)	120+800	11.7
6	124+350	9.5
7	128+900	7.5
8 (Peligrosa)	132+600	9.0
9	136+300	3.5

\*Tipo de sección (Ver Tabla 42)

Tabla 42. Tipos de secciones Car.-Zam.

Tipos de secciones del tramo Carapan - Zamora		
Km	Tipo de sección	
	Izq.	Der.
109+300	Corte	Terraplén
110+000	Corte	Terraplén
111+000	Corte	Terraplén
112+000	Corte	Terraplén
113+000	Corte	Terraplén
114+000	Terraplén	Terraplén
115+000	Terraplén	Terraplén
116+000	Terraplén	Terraplén
117+000	Terraplén	Terraplén
118+000	Terraplén	Terraplén
119+000	Terraplén	Terraplén
120+000	Terraplén	Terraplén
121+000	Corte	Terraplén
122+000	Terraplén	Terraplén
123+000	Terraplén	Corte
124+000	Corte	Terraplén
125+000	Terraplén	Terraplén
126+000	Corte	Terraplén
127+000	Terraplén	Terraplén
128+000	Terraplén	Terraplén
129+000	Terraplén	Terraplén
130+000	Terraplén	Terraplén
131+000	Terraplén	Terraplén
132+000	Terraplén	Terraplén
133+000	Terraplén	Terraplén
134+000	Terraplén	Corte
135+000	Terraplén	Corte
136+000	Terraplén	Corte
137+000	Terraplén	Corte
138+000	Terraplén	Corte
139+000	Terraplén	Corte
140+000	Terraplén	Corte
141+000	Terraplén	Corte
141+400	Terraplén	Corte

Con ayuda del programa Google Earth se obtuvo el perfil longitudinal del camino, del cual se tomaron las pendientes longitudinales (Ver Figura 45).

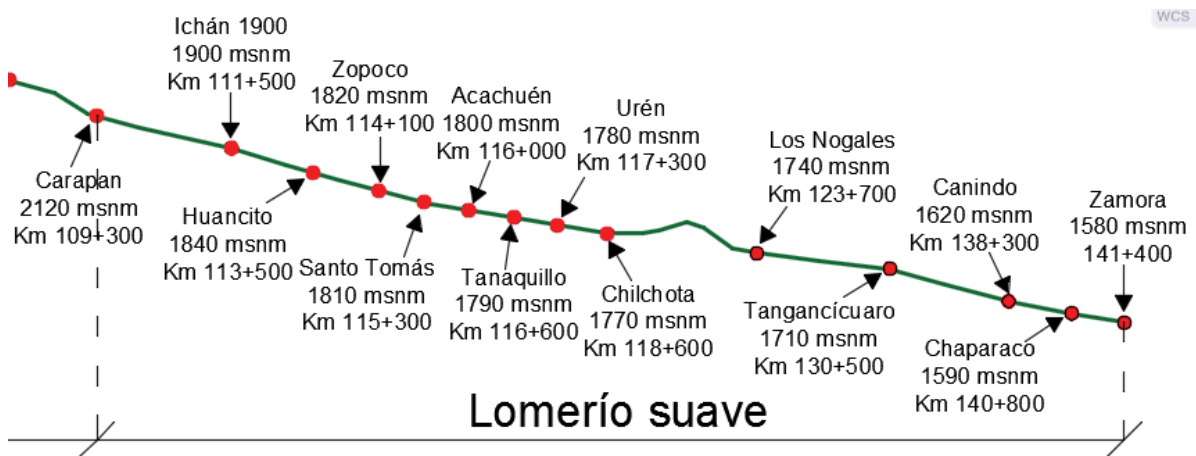
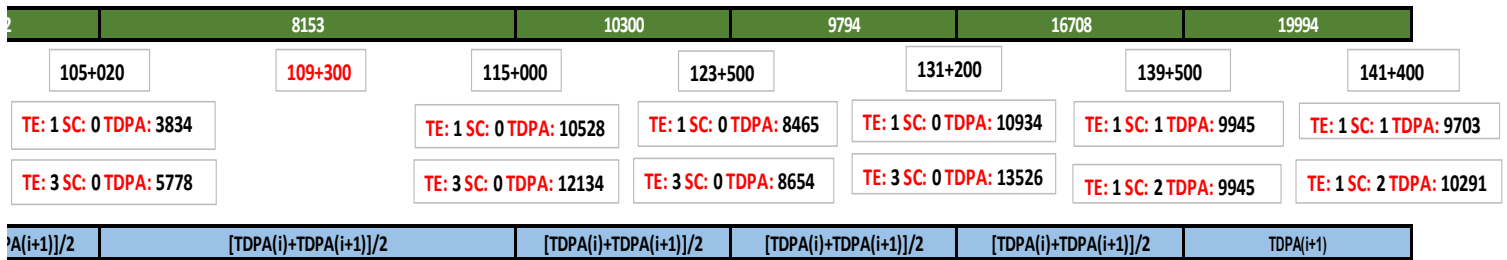


Figura 45. Perfil longitudinal Car.-Zam.

### 3.1.2.3. Tránsito

El análisis del tránsito es de gran importancia ya que representa las cargas a las cuales estará sujeto el camino. Ante esto se tuvo que recolectar información de los aforos realizados por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (DGST); de los cuales se obtuvo Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) y la clasificación vehicular de cada tramo en estudio.

En lo que se refiere al TDPA, con ayuda de la metodología desarrollada por el M.C. José Ricardo Solorio Murillo para la obtención del volumen, composición y tasa de crecimiento del tránsito, se elaboró un larguillo con datos recolectados y se obtuvieron los volúmenes de tránsito representativos de cada subtramo (Ver Figura 46).



Criterios principales		
TE(i)	TE(i+1)	TDPA(i)
3	3	TDPA(i)
3	2	$[TDPA(i)+TDPA(i+1)]/2$
3	1	$[TDPA(i)+TDPA(i+1)]/2$
2	3	TDPA(i)
2	2	$[TDPA(i)+TDPA(i+1)]/2$
2	1	$[TDPA(i)+TDPA(i+1)]/2$
1	3	Ver criterios secundarios
1	2	TDPA(i+1)
1	1	TDPA(i+1)

Criterios secundarios		
TDPA(i)	TDPA(i+1)	TDPA(i)
> 0	> 0	$[TDPA(i)+TDPA(i+1)]/2$
> 0	= 0	TDPA(i)
= 0	> 0	TDPA(i+1)
= 0	= 0	Sin valor

TE (i): Estación localizada en el origen del tramo.  
 TE (i+1): Estación localizada en el destino del tramo.

Figura 46. TDPA representativo de Car-Zam.

La clasificación vehicular que se obtuvo de la DGST es la presentada en la Tabla 43.

Tabla 43. Clasificación vehicular Car.-Zam.

Clasificación vehicular					
Clasificación	Tramos				
	Car.-Zam. (Km 109+300 al 115+000)	Car.-Zam. (Km 115+000 al 123+500)	Car.-Zam. (Km 123+500 al 131+200)	Car.-Zam. (Km 131+200 al 139+500)	Car.-Zam. (Km 139+500 al 141+400)
A	83.6	82.8	78.6	83.3	87.2
B3	1.3	1.7	1.5	3.4	4.3
C2	5.4	5.6	9.5	8.7	4.8
C3	2.6	2.3	2.8	1.2	0.9
T3S2	4.2	3.8	4.6	1.5	0.9
T3S3	1.6	1.9	1.6	1.1	1.7
T3S2R4	0.5	1	0.5	0.4	0
Otros	0.8	0.9	0.9	0.4	0.2

**FUENTE: Dirección General de Servicios Técnicos**

A la tabla anterior se le hacen ligeras modificaciones, ya que los porcentajes de la clasificación de otros se reparte entre los vehículos pesados (B3, C2, C3, T3S2, T3S3 y T3S2R4). Atendiendo lo anterior, en la Tabla 44 se muestran las modificaciones realizadas.

Tabla 44. Clasificación vehicular modificada Car.-Zam.

Clasificación vehicular					
Clasificación	Tramos				
	Car.-Zam. (Km 109+300 al 115+000)	Car.-Zam. (Km 115+000 al 123+500)	Car.-Zam. (Km 123+500 al 131+200)	Car.-Zam. (Km 131+200 al 139+500)	Car.-Zam. (Km 139+500 al 141+400)
A	83.6	82.8	78.6	83.3	87.2
B3	1.4	1.8	1.6	3.5	4.4
C2	5.6	5.9	9.8	8.8	4.9
C3	2.7	2.4	2.9	1.3	0.9
T3S2	4.4	4	4.8	1.6	0.9
T3S3	1.7	2	1.7	1.1	1.7
T3S2R4	0.6	1.1	0.6	0.4	0

Teniendo definidos los valores representativos del TDPA, se pasó a calcular la tasa de crecimiento con la misma metodología presentada en el documento técnico para la obtención del volumen, composición y tasa de crecimiento del tránsito. Los resultados se presentan en la Tabla 45.

Tabla 45. Tasas de crecimiento Car.-Zam.

Tramo	CadIni	CadFin	SC	TDPA					r (%)	R2	Siempre creciente
				2010	2011	2012	2013	2014			
Car.-Zam. (Km 115+000 al 123+500)	115+000	123+500	0	8310	8178	10300	10636	9488	5.42	0.4805	FALSO
Car.-Zam. (Km 123+500 al 131+200)	123+500	131+200	0	8310	8178	9794	9863	10180	6.11	0.8151	FALSO
Car.-Zam. (Km 131+200 al 139+500)	131+200	139+500	0	17979	20540	16708	19609	18586	0.20	0.0016	FALSO
Car.-Zam. (Km 139+500 al 141+400)	139+500	141+400	0	17979	20540	19994	20112	15834	-2.71	0.1589	FALSO

Obtención de los parámetros de regresión										
	Año					m	b	R2	TDPA <sub>0</sub>	r(%)
	0	1	2	3	4					
	ln (TDPA)	9.0252	9.0092	9.2399	9.2720					
9.0252		9.0092	9.1895	9.1965	9.2282	0.0593	9.0111	0.8151	8193	6.11
9.797		9.9301	9.7236	9.8837	9.8302	0.002	9.829	0.002	18563	0.20
9.797		9.9301	9.9032	9.9091	9.6699	-0.028	9.897	0.159	19868	-2.71

A continuación de la Figura 47 a la Figura 51 se presentan los puntos aforadores



Figura 48. Estación aforadora 115+000 Car.-Zam.



Figura 47. Estación aforadora 123+500 Car.-Zam.



Figura 49. Estación aforadora 131+200 Car.-Zam.



Figura 50. Estación aforadora 139+500 Car.-Zam.



Figura 51. . Estación aforadora 141+400 Car.-Zam.

#### **3.1.2.4. Clima**

El clima que se tiene en la zona donde se encuentra el tramo es templado subhúmedo con lluvias en verano (Ver Figura 52).

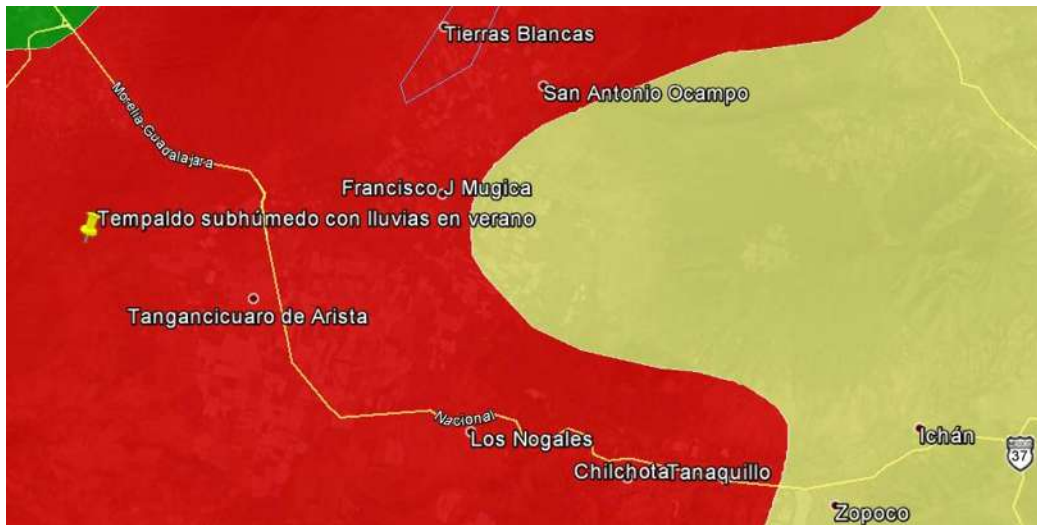


Figura 52. Clima de Car.-Zam.

**FUENTE: CONAGUA.**

De la estación climatológica 00016125 Tangancicuaro, Tangancicuaro (Ver Figura 53), se obtuvieron los valores de temperatura media anual del período de 1981-2010 y precipitación media mensual de 1981-2007; estos valores son presentados en la Tabla 46.



Figura 53. Estación climatológica 00016125 Tangancicuaro, Tangancicuaro

Tabla 46. Valores de temperatura media y precipitación mensual Car.-Zam.

Datos climatológicos del tramo Carapan-Zamora	
Parámetro	Valor
Temperatura media (°C)	17.8
Precipitación media mensual (mm)	59.4

FUENTE: CONAGUA.

### 3.1.2.5. Deflexiones

La medición de las deflexiones se realizó a 700 KPa con el deflectómetro de impacto (HWD) a cada 1000 m. En la Tabla 47 se presentan los resultados de la medición.

Tabla 47. Deflexiones de Car.-Zam.

DEFLEXIONES NORMALIZADAS A 700 kPa, en mm.										
Ruta	Clave de carretera	km inicial	km final	δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7
MX-015	16029	109+300	110+000	0.172	0.11	0.089	0.075	0.051	0.033	0.018
MX-015	16029	110+000	111+000	0.227	0.167	0.133	0.114	0.074	0.051	0.028
MX-015	16029	111+000	112+000	0.371	0.263	0.215	0.178	0.119	0.091	0.034
MX-015	16029	112+000	113+000	0.436	0.304	0.242	0.195	0.124	0.082	0.038
MX-015	16029	113+000	114+000	0.96	0.544	0.366	0.236	0.102	0.045	0.017
MX-015	16029	114+000	115+000	0.321	0.179	0.131	0.096	0.047	0.029	0.022
MX-015	16029	115+000	116+000	0.524	0.329	0.23	0.162	0.078	0.042	0.017
MX-015	16029	116+000	117+000	0.509	0.333	0.241	0.18	0.101	0.06	0.025
MX-015	16029	117+000	118+000	0.695	0.518	0.384	0.29	0.158	0.104	0.057
MX-015	16029	118+000	119+000	0.412	0.242	0.171	0.126	0.065	0.043	0.014
MX-015	16029	119+000	120+000	0.42	0.275	0.216	0.178	0.127	0.093	0.06
MX-015	16029	120+000	121+000	0.316	0.207	0.15	0.107	0.053	0.029	0.015
MX-015	16029	121+000	122+000	0.675	0.453	0.341	0.27	0.165	0.102	0.053
MX-015	16029	122+000	123+000	0.286	0.151	0.112	0.095	0.06	0.041	0.016
MX-015	16029	123+000	124+000	0.514	0.387	0.296	0.227	0.137	0.085	0.046
MX-015	16029	124+000	125+000	0.494	0.329	0.255	0.203	0.114	0.071	0.031
MX-015	16029	125+000	126+000	0.32	0.213	0.147	0.105	0.059	0.035	0.017
MX-015	16029	126+000	127+000	0.835	0.616	0.505	0.422	0.265	0.186	0.114
MX-015	16029	127+000	128+000	1.297	0.896	0.667	0.481	0.305	0.2	0.124
MX-015	16029	128+000	129+000	0.374	0.293	0.236	0.2	0.13	0.093	0.058
MX-015	16029	129+000	130+000	0.883	0.547	0.361	0.221	0.094	0.055	0.036
MX-015	16029	130+000	131+000	0.786	0.573	0.447	0.348	0.216	0.129	0.066
MX-015	16029	131+000	132+000	1.831	1.369	1.078	0.83	0.449	0.272	0.18
MX-015	16029	132+000	133+000	1.732	0.945	0.615	0.403	0.19	0.103	0.045
MX-015	16029	133+000	134+000	1.508	0.907	0.53	0.433	0.201	0.13	0.09
MX-015	16029	134+000	135+000	0.548	0.352	0.264	0.204	0.117	0.076	0.052
MX-015	16029	135+000	136+000	1.006	0.793	0.633	0.517	0.264	0.147	0.066
MX-015	16029	136+000	137+000	0.387	0.267	0.205	0.16	0.102	0.059	0.041
MX-015	16029	137+000	138+000	0.943	0.6	0.37	0.255	0.116	0.066	0.061
MX-015	16029	138+000	139+000	0.603	0.416	0.308	0.23	0.128	0.076	0.043
MX-015	16029	139+000	140+000	0.577	0.452	0.368	0.314	0.205	0.131	0.073
MX-015	16029	140+000	141+000	0.307	0.217	0.172	0.14	0.089	0.063	0.036
MX-015	16029	141+000	141+400	0.709	0.517	0.364	0.27	0.15	0.096	0.06

FUENTE: Contratistas.

Para el propósito de este trabajo se utilizará el valor de deflexión medido en el plato ( $\delta_1$ ), ya que éste genera la mayor deflexión (Ver Tabla 48).

Tabla 48. Deflexiones del plato Car.-Zam.

Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	Deflexión ( $\delta_1$ )
MX-015	16029	109+300	110+000	0.172
MX-015	16029	110+000	111+000	0.227
MX-015	16029	111+000	112+000	0.371
MX-015	16029	112+000	113+000	0.436
MX-015	16029	113+000	114+000	0.96
MX-015	16029	114+000	115+000	0.321
MX-015	16029	115+000	116+000	0.524
MX-015	16029	116+000	117+000	0.509
MX-015	16029	117+000	118+000	0.695
MX-015	16029	118+000	119+000	0.412
MX-015	16029	119+000	120+000	0.42
MX-015	16029	120+000	121+000	0.316
MX-015	16029	121+000	122+000	0.675
MX-015	16029	122+000	123+000	0.286
MX-015	16029	123+000	124+000	0.514
MX-015	16029	124+000	125+000	0.494
MX-015	16029	125+000	126+000	0.32

MX-015	16029	126+000	127+000	0.835
MX-015	16029	127+000	128+000	1.297
MX-015	16029	128+000	129+000	0.374
MX-015	16029	129+000	130+000	0.883
MX-015	16029	130+000	131+000	0.786
MX-015	16029	131+000	132+000	1.831
MX-015	16029	132+000	133+000	1.732
MX-015	16029	133+000	134+000	1.508
MX-015	16029	134+000	135+000	0.548
MX-015	16029	135+000	136+000	1.006
MX-015	16029	136+000	137+000	0.387
MX-015	16029	137+000	138+000	0.943
MX-015	16029	138+000	139+000	0.603
MX-015	16029	139+000	140+000	0.577
MX-015	16029	140+000	141+000	0.307
MX-015	16029	141+000	141+400	0.709

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.2.6. Profundidad de roderas

Los valores de profundidad de roderas medidos se observan en la Tabla 49, para obtenerlos se utilizó el perfilómetro láser en subtramos de 1000 m.

Tabla 49. Profundidad de roderas Car.-Zam.

Profundidad de rodera				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	Prof. Roderas
MX-015	16029	109+300	110+000	4.13
MX-015	16029	110+000	111+000	4.57
MX-015	16029	111+000	112+000	7.06
MX-015	16029	112+000	113+000	4.59
MX-015	16029	113+000	114+000	4.34
MX-015	16029	114+000	115+000	5.14
MX-015	16029	115+000	116+000	3.65
MX-015	16029	116+000	117+000	5.09
MX-015	16029	117+000	118+000	3.31
MX-015	16029	118+000	119+000	4.39
MX-015	16029	119+000	120+000	5.08
MX-015	16029	120+000	121+000	4.45
MX-015	16029	121+000	122+000	5.31
MX-015	16029	122+000	123+000	4.61
MX-015	16029	123+000	124+000	4.79
MX-015	16029	124+000	125+000	6.7
MX-015	16029	125+000	126+000	4.92

MX-015	16029	126+000	127+000	4.28
MX-015	16029	127+000	128+000	3.54
MX-015	16029	128+000	129+000	4.74
MX-015	16029	129+000	130+000	3.84
MX-015	16029	130+000	131+000	4.25
MX-015	16029	131+000	132+000	3.81
MX-015	16029	132+000	133+000	3.83
MX-015	16029	133+000	134+000	4.1
MX-015	16029	134+000	135+000	4.09
MX-015	16029	135+000	136+000	2.68
MX-015	16029	136+000	137+000	2.85
MX-015	16029	137+000	138+000	3.81
MX-015	16029	138+000	139+000	3.33
MX-015	16029	139+000	140+000	3.07
MX-015	16029	140+000	141+000	3.35
MX-015	16029	141+000	141+400	4.55

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.2.7. IRI

Los valores de IRI medidos se observan en la Tabla 50, para obtenerlos se utilizó el perfilómetro láser en subtramos de 1000 m.

Tabla 50. IRI Car.-Zam.

Índice Internacional de Regularidad				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	IRI
MX-015	16029	109+300	110+000	2.32
MX-015	16029	110+000	111+000	2.97
MX-015	16029	111+000	112+000	3.43
MX-015	16029	112+000	113+000	3.07
MX-015	16029	113+000	114+000	3.51
MX-015	16029	114+000	115+000	3.2
MX-015	16029	115+000	116+000	3.38
MX-015	16029	116+000	117+000	2.54
MX-015	16029	117+000	118+000	2.23
MX-015	16029	118+000	119+000	2.72
MX-015	16029	119+000	120+000	2.71
MX-015	16029	120+000	121+000	3.82
MX-015	16029	121+000	122+000	3.59
MX-015	16029	122+000	123+000	2.87
MX-015	16029	123+000	124+000	2.88
MX-015	16029	124+000	125+000	3.06
MX-015	16029	125+000	126+000	2.94
MX-015	16029	126+000	127+000	2.48
MX-015	16029	127+000	128+000	3.12
MX-015	16029	128+000	129+000	2.59
MX-015	16029	129+000	130+000	3.53
MX-015	16029	130+000	131+000	3.78
MX-015	16029	131+000	132+000	3
MX-015	16029	132+000	133+000	2.42
MX-015	16029	133+000	134+000	2.75
MX-015	16029	134+000	135+000	2.46
MX-015	16029	135+000	136+000	2.21
MX-015	16029	136+000	137+000	2.14
MX-015	16029	137+000	138+000	3.22
MX-015	16029	138+000	139+000	2.59
MX-015	16029	139+000	140+000	2.91
MX-015	16029	140+000	141+000	3.25
MX-015	16029	141+000	141+400	3.07

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.2.8. Resistencia al deslizamiento

Los valores de resistencia a deslizamiento medidos se observan en la Tabla 51, para obtenerlos se utilizó el Mu Meter MK 6 en subtramos de 1000 m.

Tabla 51. Resistencia al deslizamiento Car.-Zam.

Resistencia al deslizamiento				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	Rest. Desliz.
MX-015	16029	109+300	110+000	0.55
MX-015	16029	110+000	111+000	0.5
MX-015	16029	111+000	112+000	0.53
MX-015	16029	112+000	113+000	0.44
MX-015	16029	113+000	114+000	0.43
MX-015	16029	114+000	115+000	0.41
MX-015	16029	115+000	116+000	0.41
MX-015	16029	116+000	117+000	0.41
MX-015	16029	117+000	118+000	0.45
MX-015	16029	118+000	119+000	0.53
MX-015	16029	119+000	120+000	0.59
MX-015	16029	120+000	121+000	0.55
MX-015	16029	121+000	122+000	0.45
MX-015	16029	122+000	123+000	0.4
MX-015	16029	123+000	124+000	0.48
MX-015	16029	124+000	125+000	0.42
MX-015	16029	125+000	126+000	0.38
MX-015	16029	126+000	127+000	0.4
MX-015	16029	127+000	128+000	0.39
MX-015	16029	128+000	129+000	0.38
MX-015	16029	129+000	130+000	0.38
MX-015	16029	130+000	131+000	0.47
MX-015	16029	131+000	132+000	0.48
MX-015	16029	132+000	133+000	0.5
MX-015	16029	133+000	134+000	0.5
MX-015	16029	134+000	135+000	0.53
MX-015	16029	135+000	136+000	0.54
MX-015	16029	136+000	137+000	0.46
MX-015	16029	137+000	138+000	0.47
MX-015	16029	138+000	139+000	0.44
MX-015	16029	139+000	140+000	0.43
MX-015	16029	140+000	141+000	0.53
MX-015	16029	141+000	141+400	0.35

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.2.9. Deterioros

De acuerdo con el levantamiento de deterioros realizado sobre la superficie de rodadura, en la Tabla 52 se muestran los porcentajes correspondientes a cada deterioro observado.

Tabla 52. Deterioros Car.-Zam.

Ubicación		Deterioros											Estado físico	Observaciones	
		Roderas	Asent. Trans.	Asent.	Agriet. Long.	Agriet. Trans.	Piel cocod.	Agriet. T. Mapa	Baches	Abult.	Pulido Superf.	Calav.			Descascaramiento
Km inicial	Km final	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
109+300	119+000	35	5	5	0	0	0	10	2	2	20	0	0	Satisfactorio	
119+000	125+000	25	15	0	5	0	3	10	0	0	15	0	0	Satisfactorio	
125+000	131+000	35	5	0	0	0	0	10	0	0	30	0	0	Satisfactorio	
131+000	133+000	25	5	0	5	0	0	0	0	0	25	0	0	Satisfactorio	Se niveló T.A. Programa CPCC
133+000	136+000	25	0	5	0	0	15	0	3	0	10	3	2	Satisfactorio	
136+000	141+000	30	2	0	0	10	10	10	5	0	5	3	0	Satisfactorio	
141+000	141+400	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	Bueno	

FUENTE: Residencia General de Conservación de Carreteras Morelia.

De los deterioros inventariados, los que se ingresarán en el programa para representar la condición actual del pavimento son los siguientes:

#### 1.- Agrietamiento total estructural (ACA) y el agrietamiento estructural ancho (ACW)

En la Tabla 53 se presentan los valores de ACA y ACW, en porcentaje.

Tabla 53. Valores de ACA y ACW Car.-Zam.

Ubicación		Piel cocod.	Agriet. T. Mapa	Agriet. Long.	Primera consideración	Segunda consideración	Agrietamiento estructural total	Agrietamiento estructural ancho
Km inicial	Km final	%	%	%			%	%
109+300	119+000	0	10	0	10	10	10	5
119+000	125+000	3	10	5	10	10	10	5
125+000	131+000	0	10	0	10	10	10	5
131+000	133+000	0	0	5	0	5	5	0
133+000	136+000	15	0	0	15	15	15	10
136+000	141+000	10	10	0	10	10	10	5
141+000	141+400	0	10	0	10	10	10	5

## 2.- Agrietamiento térmico

En la Tabla 54 se presentan los valores del agrietamiento térmico, en porcentaje.

Tabla 54. Valores de agrietamiento térmico Car.-Zam.

Ubicación		Agriet. Trans.	Agriet. T. Mapa	Agriet. Térmico
Km inicial	Km final	%	%	%
109+300	119+000	0	10	0
119+000	125+000	0	10	0
125+000	131+000	0	10	0
131+000	133+000	0	0	0
133+000	136+000	0	0	0
136+000	141+000	10	10	0
141+000	141+400	0	10	0

## 3.- Número de baches

En la Tabla 55 se presentan los valores de número de baches por Km.

Tabla 55. No. de baches Car.-Zam.

Ubicación		Baches	No. de baches
Km inicial	Km final	%	
109+300	119+000	2	0
119+000	125+000	0	0
125+000	131+000	0	0
131+000	133+000	0	0
133+000	136+000	3	0
136+000	141+000	5	0
141+000	141+400	0	0

## 4.- Rotura de borde

En la Tabla 56 se presentan los valores de rotura de borde, en m<sup>2</sup>/Km.

Tabla 56. Valores de rotura de borde Car.-Zam.

Ubicación		Desp. Borde	Ancho de calzada	Rotura de borde
Km inicial	Km final	%	m	m <sup>2</sup> /km
109+300	119+000	0	7.4	0
119+000	125+000	0	7.4	0
125+000	131+000	0	7.4	0
131+000	133+000	0	7.4	0
133+000	136+000	0	7	0
136+000	141+000	0	7	0
141+000	141+400	0	7	0

## 5.- Desprendimiento de agregados

Los valores de desprendimiento se presentan en la Tabla 57, en porcentaje.

Tabla 57. Valores de desprendimiento de agregados Car.-Zam.

Ubicación		Calav.	Desprendimiento
Km inicial	Km final	%	%
109+300	119+000	0	0
119+000	125+000	0	0
125+000	131+000	0	0
131+000	133+000	0	0
133+000	136+000	3	3
136+000	141+000	3	3
141+000	141+400	0	0

### 3.1.3. Tramo Libramiento Norte de Zamora.

Este tramo inicia en el Km 0+000 y termina en el Km 14+700, formando parte de la Carretera Federal MEX-015 Libramiento Norte Zamora. Se encuentra en la parte Noroccidental del estado de Michoacán, abarcando 14.7 Km.

En la Figura 55 se observa el inicio del tramo, y en la Figura 54 el término de éste.



Figura 55. Inicio del tramo Lib. Nte. Zam.



Figura 54. Fin del tramo Lib. Nte. Zam

### 3.1.3.1. Estructura del camino

Conocer la estructura del camino nos ayuda a identificar los espesores de capa y el tipo de material con el que se construyeron dichas capas. Las capas que conforman el camino del Km 0+000 al Km 14+700 son las que se presentan en la Tabla 58 y la Figura 56, con sus respectivos espesores y valores de VRS.

Tabla 58. Espesores y VRS de Lib. Nte. Zam. 0-14.7

Tramo Lib. Nte. Zamora del Km 0+000 al Km 14+700		
Capa	Espesor	V.R.S. (%)
Carpeta asfáltica	12	
Base hidráulica	17.1	86.7
Subbase	21.3	94.38
Subrasante	31.4	91.22
Terraplén		87.21
Terrano natural		3.32

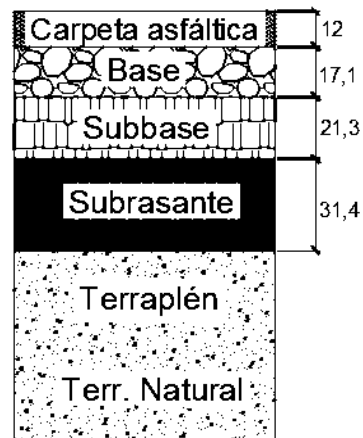


Figura 56. Estructura del camino de Lib. Nte. Zam. 0-14.7

FUENTE: Contratistas.

En la Tabla 59 se presentan los años en que se realizaron trabajos previos.

Tabla 59. Trabajos previos Lib. Nte. Zam.

Trabajos previos				
Secciones homogéneas	Reconstrucción	Rehabilitación (Sobrecarpeta)	Tratamiento superficial (Sello)	Tratamiento preventivo
LibNteZam,0+000-3+000	2002	2002	2002	2002
LibNteZam,3+000-4+000	2002	2002	2002	2002
LibNteZam,4+000-7+250	2002	2002	2002	2002
LibNteZam,7+250-9+910	2003	2003	2003	2003
LibNteZam,9+910-11+000	2003	2003	2003	2003
LibNteZam,11+000-14+700	2003	2003	2003	2003

### 3.1.3.2. Geometría

De acuerdo al tipo de terreno, se definió que el tramo está en una zona con lomerío suave.

Ya que no se contaba con la información de grados de curvatura de algunas curvas horizontales y los tipos de secciones a lo largo del tramo, se llevaron a cabo diversas medidas en el tramo.

De acuerdo con el proyecto entregado a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, el ancho de corona promedio es de 10.5 m, con acotamientos de 1.7 m. Ya que se decidió medir el grado de curvatura y observar el tipo de sección, se midieron algunos anchos de corona para corroborar los reportados.

\*Anchos de corona medidos (Ver Tabla 60).

Tabla 60. Anchos de corona Lib. Nte. Zam.

Anchos de corona del tramo Lib. Nte de Zamora	
Km	A. de corona (m)
1+000	10.9
6+000	10.3
11+000	10.5
14+500	10.8

En la Figura 57 y Figura 58 se visualizan las curvas existentes en este tramo sin ser consideradas peligrosas, aun así se registraron grados de curvatura de algunas curvas que se tomaron al azar, en la Tabla 61 se presentan dichas mediciones.



Figura 57. Curvas 1 Lib. Nte. Zam.

FUENTE: Google Earth.



Figura 58. Curvas 2 Lib. Nte. Zam.

FUENTE: Google Earth.

Tabla 61. Grados de curvatura Lib. Nte. Zam.

Grados de curvatura del tramo Lib. Nte. de Zamora		
No. de curva	Km	Gc (°)
1	2+000	4.0
2	6+000	4.0
3	8+000	2.0
4	9+500	2.0
5	14+500	1.5

\*Tipo de sección (Ver Tabla 62)

Tabla 62. Tipos de secciones Lib. Nte. Zam.

Tipos de secciones del tramo Lib. Nte. de Zamora		
Km	Tipo de sección	
	Izq.	Der.
0+000	Terraplén	Corte
1+000	Terraplén	Corte
2+000	Terraplén	Corte
3+000	Terraplén	Corte
4+000	Terraplén	Corte
5+000	Terraplén	Corte
6+000	Terraplén	Corte

7+000	Terraplén	Corte
8+000	Terraplén	Terraplén
9+000	Terraplén	Terraplén
10+000	Terraplén	Terraplén
11+000	Terraplén	Terraplén
12+000	Terraplén	Terraplén
13+000	Terraplén	Terraplén
14+000	Terraplén	Terraplén
14+700	Terraplén	Terraplén

Con ayuda del programa Google Earth se obtuvo el perfil longitudinal del camino, del cual se tomaron las pendientes longitudinales (Ver Figura 59).

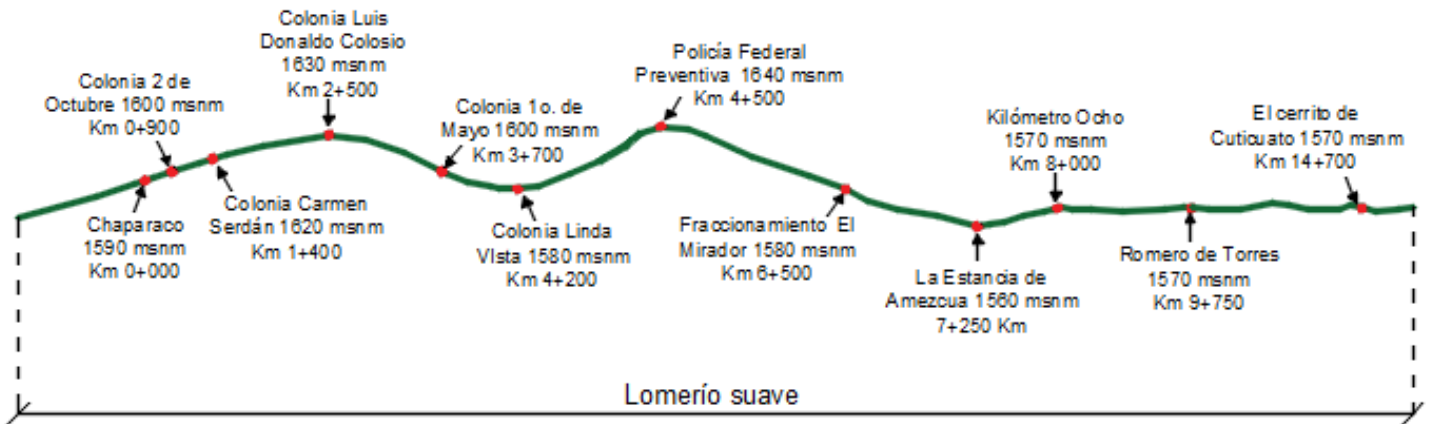


Figura 59. Perfil longitudinal Lib. Nte. Zam.

### 3.1.3.3. Tránsito

El análisis del tránsito es de gran importancia ya que representa las cargas a las cuales estará sujeto el camino. Ante esto se tuvo que recolectar información de los aforos realizados por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (DGST); de los cuales se obtuvo Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) y la clasificación vehicular de cada tramo en estudio.

En lo que se refiere al TDPA, con ayuda de la metodología desarrollada por el M.C. José Ricardo Solorio Murillo para la obtención del volumen, composición y tasa de crecimiento del tránsito, se elaboró un larguillo con datos recolectados y se obtuvieron los volúmenes de tránsito representativos de cada subtramo (Ver Figura 60).

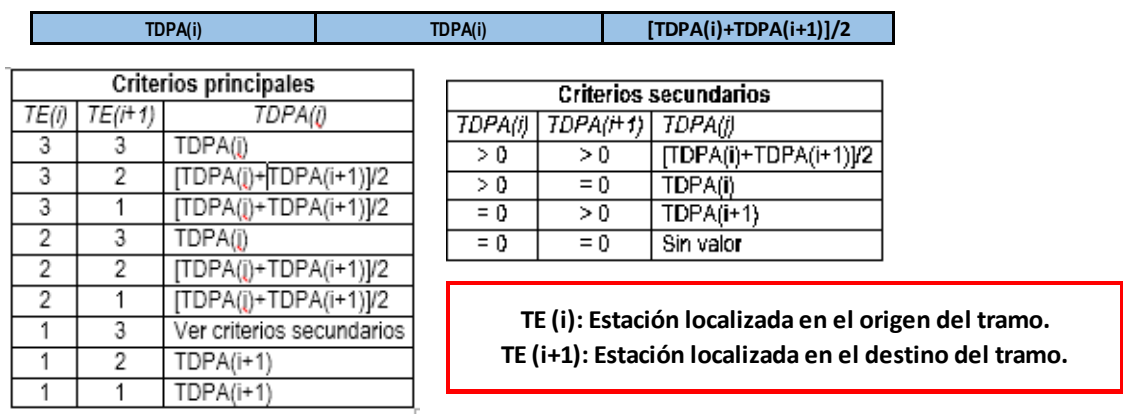
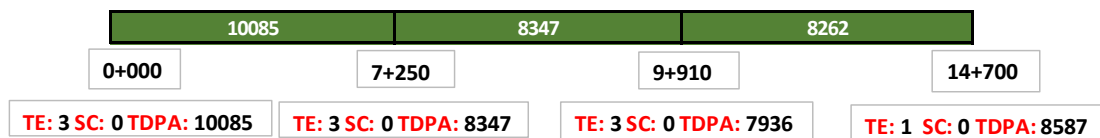


Figura 60. TDPA representativo de Lib. Nte. Zam.

La clasificación vehicular que se obtuvo de la DGST es la presentada en la Tabla 63.

Tabla 63. Clasificación vehicular Lib. Nte. Zam.

Clasificación vehicular			
Clasificación	Tramos		
	Lib. Nte. Zam. (Km 0+000 al 7+250)	Lib. Nte. Zam. (Km 7+250 al 9+910)	Lib. Nte. Zam. (Km 9+910 al 14+700)
A	75	74	72.4
B3	3.5	3.8	3.6
C2	7.8	7.6	9.7
C3	4.4	5.6	5
T3S2	5.1	5.4	6.2
T3S3	2.1	2.1	1.8
T3S2R4	0.9	0.9	0.7
Otros	1.2	0.6	0.6

FUENTE: Dirección General de Servicios Técnicos

A la tabla anterior se le hacen ligeras modificaciones, ya que los porcentajes de la clasificación de otros se reparte entre los vehículos pesados (B3, C2, C3, T3S2, T3S3 y T3S2R4). Atendiendo lo anterior, en la Tabla 64 se muestran las modificaciones realizadas.

Tabla 64. Clasificación vehicular modificada Lib. Nte. Zam.

Clasificación vehicular			
Clasificación	Tramos		
	Lib. Nte. Zam. (Km 0+000 al 7+250)	Lib. Nte. Zam. (Km 7+250 al 9+910)	Lib. Nte. Zam. (Km 9+910 al 14+700)
A	75	74	72.4
B3	3.7	3.9	3.7
C2	8	7.7	9.8
C3	4.6	5.7	5.1
T3S2	5.3	5.5	6.3
T3S3	2.3	2.2	1.9
T3S2R4	1.1	1	0.8

Teniendo definidos los valores representativos del TDPA, se pasó a calcular la tasa de crecimiento con la misma metodología presentada en el documento técnico para la obtención del volumen, composición y tasa de crecimiento del tránsito. Los resultados se presentan en la Tabla 65.

Tabla 65. Tasas de crecimiento Lib. Nte. Zam.

Tramo	CadIni	CadFin	SC	TDPA					r (%)	R2	Siempre creciente
				2010	2011	2012	2013	2014			
Lib. Nte. Zam. (Km 0+000 al 7+250)	0+000	7+250	0	0	0	10085	10309	10774	3.36	0.9639	FALSO
Lib. Nte. Zam. (Km 7+250 al 9+910)	7+250	9+910	0	0	0	8347	8543	8282	-0.39	0.0587	FALSO
Lib. Nte. Zam. (Km 9+910 al 14+700)	9+910	14+700	0	0	0	8262	8600	8392	0.78	0.1492	FALSO

Obtención de los parámetros de regresión										
	Año					m	b	R2	TDPA <sub>0</sub>	r(%)
	0	1	2	3	4					
	In (TDPA)	#####	#####	9.2188	9.2408	9.2849	0.0330	9.1490	0.9639	9405
	#####	#####	9.0297	9.0529	9.0218	-0.0039	9.0465	0.0587	8489	-0.39
	#####	#####	9.0194	9.0595	9.0350	0.0078	9.015	0.149	8222	0.78

El cálculo de la tasa de crecimiento de este tramo no resulta muy confiable, debido a que no se cuenta con los valores de TDPA del año 2011 para atrás, esto hace que no se visualice de manera adecuado el crecimiento o decrecimiento del TDPA.

A continuación de la Figura 61 a la Figura 63 se presentan los puntos aforadores.



Figura 61. Estación aforadora 0+000 Lib. Nte. Zam.



Figura 62. Estación aforadora 7+250 Lib. Nte. Zam.



Figura 64. Estación aforadora 9+910 Lib. Nte. Zam.



Figura 63. Estación aforadora 14+700 Lib. Nte. Zam.

#### **3.1.3.4. Clima**

El clima que se tiene en la zona donde se encuentra el tramo es Semicálido subhúmedo con lluvias en verano (Ver Figura 65).



Figura 65. Clima de Lib. Nte. Zam.

FUENTE: CONAGUA.

De la estación climatológica 00016048 Zamora (DGE), Zamora (Ver Figura 66), se obtuvieron los valores de temperatura media anual del período de 1981-2010 y precipitación media mensual de 1981-2007; estos valores son presentados en la Tabla 66.



Figura 66. Estación climatológica 00016048 Zamora (DGE), Zamora

Tabla 66. Valores de temperatura media y precipitación mensual Lib. Nte. Zam.

Datos climatológicos del tramo Lib. Nte. Zamora	
Parámetro	Valor
Temperatura media (°C)	20.3
Precipitación media mensual (mm)	66.9

FUENTE: CONAGUA.

### 3.1.3.5. Deflexiones

La medición de las deflexiones se realizó a 700 KPa con el deflectómetro de impacto (HWD) a cada 1000 m. En la Tabla 67 se presentan los resultados de la medición.

Tabla 67. Deflexiones de Lib. Nte. Zam.

DEFLEXIONES NORMALIZADAS A 700 kPa, en mm.										
Ruta	Clave de carretera	km inicial	km final	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$	$\delta_7$
MX-015	16999	0.000	1.000	0.541	0.377	0.291	0.233	0.192	0.185	0.169
MX-015	16999	1.000	2.000	0.478	0.371	0.352	0.333	0.254	0.176	0.057
MX-015	16999	2.000	3.000	0.64	0.454	0.356	0.289	0.182	0.118	0.072
MX-015	16999	3.000	4.000	0.438	0.318	0.244	0.193	0.109	0.053	0.007
MX-015	16999	4.000	5.000	0.536	0.364	0.273	0.213	0.115	0.054	0.01
MX-015	16999	5.000	6.000	0.742	0.552	0.389	0.281	0.129	0.064	0.029
MX-015	16999	6.000	7.000	0.807	0.585	0.443	0.328	0.15	0.131	0.09
MX-015	16999	7.000	8.000	0.715	0.5	0.384	0.299	0.177	0.109	0.086
MX-015	16999	8.000	9.000	0.639	0.419	0.268	0.212	0.136	0.13	0.118
MX-015	16999	9.000	10.000	0.683	0.396	0.275	0.202	0.108	0.058	0.038
MX-015	16999	10.000	11.000	0.729	0.521	0.394	0.322	0.213	0.162	0.105
MX-015	16999	11.000	12.000	0.665	0.437	0.326	0.264	0.191	0.152	0.113
MX-015	16999	12.000	13.000	0.807	0.479	0.321	0.235	0.155	0.122	0.097
MX-015	16999	13.000	14.000	0.825	0.492	0.333	0.251	0.165	0.132	0.098

FUENTE: Contratistas.

Para el propósito de este trabajo se utilizará el valor de deflexión medido en el plato ( $\delta_1$ ), ya que éste genera la mayor deflexión (Ver Tabla 68).

Tabla 68. Deflexiones del plato Lib. Nte. Zam.

Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	Deflexión ( $\delta_1$ )
MX-015	16999	0+000	1+000	0.541
MX-015	16999	1+000	2+000	0.478
MX-015	16999	2+000	3+000	0.64
MX-015	16999	3+000	4+000	0.438
MX-015	16999	4+000	5+000	0.536
MX-015	16999	5+000	6+000	0.742
MX-015	16999	6+000	7+000	0.807
MX-015	16999	7+000	8+000	0.715
MX-015	16999	8+000	9+000	0.639
MX-015	16999	9+000	10+000	0.683
MX-015	16999	10+000	11+000	0.729
MX-015	16999	11+000	12+000	0.665
MX-015	16999	12+000	13+000	0.807
MX-015	16999	13+000	14+000	0.825
MX-015	16999	14+000	14+700	

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.3.6. Profundidad de roderas

Los valores de profundidad de rodera medidos se observan en la Tabla 69, para obtenerlos se utilizó el perfilómetro láser en subtramos de 1000 m.

Tabla 69. Profundidad de roderas Lib. Nte. Zam.

Profundidad de rodera				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	Prof. Rodera
MX-015	16999	0+000	1+000	2.95
MX-015	16999	1+000	2+000	2.99
MX-015	16999	2+000	3+000	3.69
MX-015	16999	3+000	4+000	3.75
MX-015	16999	4+000	5+000	3.95
MX-015	16999	5+000	6+000	3.3
MX-015	16999	6+000	7+000	3.77
MX-015	16999	7+000	8+000	3.38
MX-015	16999	8+000	9+000	4.17
MX-015	16999	9+000	10+000	3.99
MX-015	16999	10+000	11+000	4.25
MX-015	16999	11+000	12+000	4.18
MX-015	16999	12+000	13+000	3.9
MX-015	16999	13+000	14+000	5.5
MX-015	16999	14+000	14+700	4.8

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.3.7. IRI

Los valores de IRI medidos se observan en la Tabla 70, para obtenerlos se utilizó el perfilómetro láser en subtramos de 1000 m.

Tabla 70. IRI Lib. Nte. Zam.

Índice Internacional de Regularidad				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	IRI
MX-015	16999	0+000	1+000	3.43
MX-015	16999	1+000	2+000	3.31
MX-015	16999	2+000	3+000	2.93
MX-015	16999	3+000	4+000	3.34
MX-015	16999	4+000	5+000	3.23
MX-015	16999	5+000	6+000	3.67
MX-015	16999	6+000	7+000	3.38
MX-015	16999	7+000	8+000	3.8
MX-015	16999	8+000	9+000	3.49
MX-015	16999	9+000	10+000	3.56
MX-015	16999	10+000	11+000	3.82
MX-015	16999	11+000	12+000	2.93
MX-015	16999	12+000	13+000	5.28
MX-015	16999	13+000	14+000	6.11
MX-015	16999	14+000	14+700	6.11

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.3.8. Resistencia al deslizamiento

Los valores de resistencia a deslizamiento medidos se observan en la Tabla 71, para obtenerlos se utilizó el Mu Meter MK 6 en subtramos de 1000 m.

Tabla 71. Resistencia al deslizamiento Lib. Nte. Zam.

Resistencia al deslizamiento				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	Rest. Desliz.
MX-015	16999	0+000	1+000	0.46
MX-015	16999	1+000	2+000	0.45
MX-015	16999	2+000	3+000	0.39
MX-015	16999	3+000	4+000	0.39
MX-015	16999	4+000	5+000	0.48
MX-015	16999	5+000	6+000	0.5
MX-015	16999	6+000	7+000	0.49
MX-015	16999	7+000	8+000	0.46
MX-015	16999	8+000	9+000	0.55
MX-015	16999	9+000	10+000	0.49
MX-015	16999	10+000	11+000	0.5
MX-015	16999	11+000	12+000	0.48
MX-015	16999	12+000	13+000	0.43
MX-015	16999	13+000	14+000	0.43
MX-015	16999	14+000	14+700	0.43

FUENTE: Contratistas

### 3.1.3.9. Deterioros

De acuerdo con el levantamiento de deterioros realizado sobre la superficie de rodadura, en la Tabla 72 se muestran los porcentajes correspondientes a cada deterioro observado.

Tabla 72. Deterioros Lib. Nte. Zam.

Ubicación		Deterioros								Estado físico	Observaciones
		Roderas	Asent. Trans.	Asent. %	Agriet. Long.	Agriet. Trans.	Piel cocod.	Pulido Superf.	Calav.		
Km inicial	Km final	%	%	%	%	%	%	%	%		
0+000	7+000	30	5	3	0	10	10	15	3	Satisfactorio	
7+000	10+000	35	5	5	0	0	5	15	0	Satisfactorio	
10+000	14+700	30	0	10	2	0	10	0	1	Satisfactorio	Se niveló T.A. Programa CPCC

FUENTE: Residencia General de Conservación de Carreteras Morelia.

De los deterioros inventariados, los que se ingresarán en el programa para representar la condición actual del pavimento son los siguientes:

#### 1.- Agrietamiento total estructural (ACA) y el agrietamiento estructural ancho (ACW)

En la Tabla 73 se presentan los valores de ACA y ACW, en porcentaje.

Tabla 73. Valores de ACA y ACW Lib. Nte. Zam.

Ubicación		Piel cocod.	Agriet. T. Mapa	Agriet. Long.	Primera consideración	Segunda consideración	Agrietamiento estructural total	Agrietamiento estructural ancho
Km inicial	Km final	%	%	%			%	%
0+000	7+000	10	0	0	10	10	10	5
7+000	10+000	5	0	0	5	5	5	0
10+000	14+700	10	0	2	10	10	10	5

#### 2.- Agrietamiento térmico

En la Tabla 74 se presentan los valores del agrietamiento térmico, en porcentaje.

Tabla 74. Valores de agrietamiento térmico Lib. Nte. Zam.

Ubicación		Agriet. Trans.	Agriet. T. Mapa	Agriet. Térmico
Km inicial	Km final	%	%	%
0+000	7+000	10	0	10
7+000	10+000	0	0	0
10+000	14+700	0	0	0

### 3.- Número de baches

En la Tabla 75 se presentan los valores de número de baches por Km.

Tabla 75. No. de baches Lib. Nte. Zam.

Ubicación		Baches	No. de baches
Km inicial	Km final	%	
0+000	7+000	0	0
7+000	10+000	0	0
10+000	14+700	0	0

### 4.- Rotura de borde

En la Tabla 76 se presentan los valores de rotura de borde, en m<sup>2</sup>/Km.

Tabla 76. Valores de rotura de borde Lib. Nte. Zam.

Ubicación		Desp. Borde	Ancho de calzada	Rotura de borde
Km inicial	Km final	%	m	m <sup>2</sup> /km
0+000	7+000	0	6.8	0
7+000	10+000	0	6.8	0
10+000	14+700	0	6.8	0

## 5.- Desprendimiento de agregados

Los valores de desprendimiento se presentan en la Tabla 77, en porcentaje.

Tabla 77. Valores de desprendimiento de agregados Lib. Nte.

Ubicación		Calav.	Desprendimiento
Km inicial	Km final	%	%
0+000	7+000	3	3
7+000	10+000	0	0
10+000	14+700	1	1

### 3.1.4. Tramo Vista Hermosa - Briseñas

Este tramo inicia en el Km 46+000 y termina en el Km 55+900, formando parte de la Carretera Federal MEX-110 Ent. Patti – Sahuayo, aunque cabe aclarar que en la señal de kilometraje indica que la ruta es la MEX-035. Se encuentra en la parte Noroccidental del estado de Michoacán, abarcando 9.9 Km entre ambas ciudades, pasando por localidades como Paseo Hidalgo.

En la Figura 67 se observa el inicio del tramo, y en la Figura 68 el término de éste.



Figura 67. Inicio del tramo Vist.H.-Bris.



Figura 68. Inicio del tramo Vist.H.-Bris.

### 3.1.4.1. Estructura del camino

Conocer la estructura del camino nos ayuda a identificar los espesores de capa y el tipo de material con el que se construyeron dichas capas. Las capas que conforman el camino del Km 46+000 al Km 55+900 son las que se presentan en la Tabla 78 y la Figura 69, con sus respectivos espesores y valores de VRS.

Tabla 78. Espesores y VRS de Vist. H.-Bris. 46-55.9

Tramo Vist. Hermosa - Briseñas del Km 46+000 al Km 55+900		
Capa	Espesor	V.R.S. (%)
Carpeta asfáltica	31	
Base hidráulica	15	91.86
Subbase	30	71.79
Subrasante		46.3
Terraplén		
Terreno natural		5.2

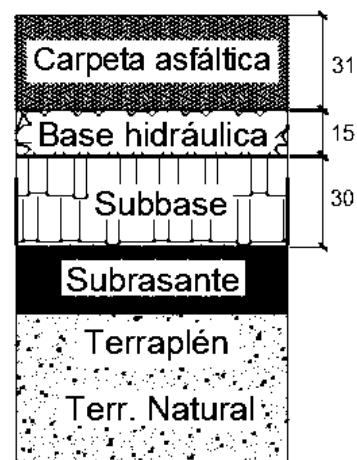


Figura 69. Estructura del camino de Vist. H.-Bris. 46-55.9

FUENTE: Contratistas.

En la Tabla 79 se presentan los años en que se realizaron trabajos previos.

Tabla 79. Trabajos previos Vist. H.-Bris.

Secciones homogéneas	Trabajos previos			
	Reconstrucción	Rehabilitación (Sobrecarpeta)	Tratamiento superficial (Sello)	Tratamiento preventivo
VistH-Bris,46+000-47+000	2007	2007	2007	2007
VistH-Bris,47+000-49+000	2007	2007	2007	2007
VistH-Bris,49+000-50+000	2007	2007	2007	2007
VistH-Bris,50+000-52+000	2007	2007	2007	2007
VistH-Bris,52+000-54+000	2007	2007	2007	2007
VistH-Bris,54+000-55+900	2007	2007	2007	2007

### 3.1.4.2. Geometría

De acuerdo al tipo de terreno, se definió que el tramo está en una zona prácticamente plana.

Ya que no se contaba con la información de grados de curvatura de algunas curvas horizontales y los tipos de secciones a lo largo del tramo, se llevaron a cabo diversas medidas en el tramo.

De acuerdo con el proyecto entregado a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, el ancho de corona promedio es de 7 m, con acotamiento de 1 m. Ya que se decidió medir el grado de curvatura y observar el tipo de sección, se midieron algunos anchos de corona para corroborar los reportados.

\*Anchos de corona medidos (Ver Tabla 80)

Tabla 80. Anchos de corona Vist. H.-Bris.

Anchos de corona del tramo Vist. Hermosa - Briseñas	
Km	A. de corona (m)
46+000	8.5
51+000	9
56+000	9

En lugar de los 7 m se tomarán 9 m, ya que eso fue lo que se midió.

Con ayuda del Google Earth y recorridos en el tramo, en la Figura 70 se identifican las curvas que se consideran peligrosas y se registraron algunos grados de curvatura de dichas curvas en la Tabla 81 junto con otras que se tomaron al azar.



Figura 70. Curvas 1 Vist. H.-Bris.

FUENTE: Google Earth.

Tabla 81. Grados de curvatura Vist. H.-Bris.

Grados de curvatura del tramo Vist. Hermosa - Briseñas		
No. de curva	Km	Gc (°)
1	47+000	5.0
2	47+300	4.0
3	51+000	4.0
4 (Peligrosa)	54+300	10.5
5 (Peligrosa)	55+700	61

\*Tipo de sección (Ver Tabla 82)

Tabla 82. Tipos de secciones Vist. H.-Bris.

Tipos de secciones del tramo Vist. Hermosa - Briseñas		
Km	Tipo de sección	
	Izq.	Der.
46+000	Terraplén	Terraplén
47+000	Terraplén	Terraplén
48+000	Terraplén	Terraplén
49+000	Terraplén	Terraplén
50+000	Terraplén	Terraplén
51+000	Terraplén	Terraplén
52+000	Terraplén	Terraplén
53+000	Terraplén	Terraplén
54+000	Terraplén	Terraplén
55+000	Terraplén	Terraplén
55+900	Terraplén	Terraplén

Con ayuda del programa Google Earth se obtuvo el perfil longitudinal del camino, del cual se tomaron las pendientes longitudinales (Ver Figura 71).

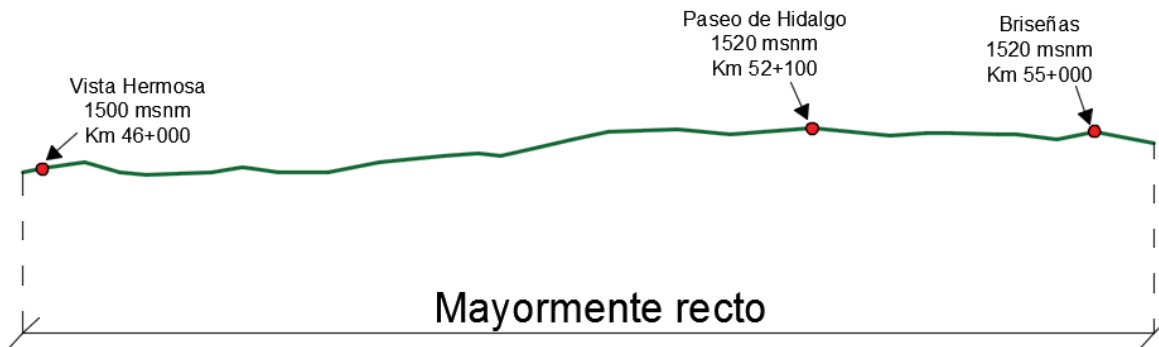


Figura 71. Perfil longitudinal Vist. H.-Bris.



Tabla 83. Clasificación vehicular Vist.H.-Bris.

Clasificación vehicular	
Clasificación	Tramos
	Vist. Her.-Briseñas (46+000 al 55+900)
A	69.9
B3	5
C2	6.3
C3	7
T3S2	6.3
T3S3	2.9
T3S2R4	1.7
Otros	0.9

**FUENTE: Dirección General de Servicios Técnicos**

A la tabla anterior se le hacen ligeras modificaciones, ya que los porcentajes de la clasificación de otros se reparte entre los vehículos pesados (B3, C2, C3, T3S2, T3S3 y T3S2R4). Atendiendo lo anterior, en la Tabla 84 se muestran las modificaciones realizadas.

Tabla 84. Clasificación vehicular modificada Vist. H.-Bris.

Clasificación vehicular	
Clasificación	Tramos
	Vist. Her.-Briseñas (46+000 al 55+900)
A	69.9
B3	5.1
C2	6.5
C3	7.3
T3S2	6.4
T3S3	3
T3S2R4	1.8

Teniendo definidos los valores representativos del TDPA, se pasó a calcular la tasa de crecimiento con la misma metodología presentada en el documento técnico para la obtención del volumen, composición y tasa de crecimiento del tránsito. Los resultados se presentan en la Tabla 85.

Tabla 85. Tasas de crecimiento Vist. H.-Bris.

Tramo	CadIni	CadFin	SC	TDPA					r(%)	R2	Siempre creciente
				2010	2011	2012	2013	2014			
Vist. Her.-Briseñas (Km 46+000 al 55+900)	46+000	55+900	0	11022	11004	10908	10832	9333	-3.42	0.5946	FALSO

	Obtención de los parámetros de regresión									
	Año					m	b	R2	TDPA <sub>0</sub>	r(%)
	0	1	2	3	4					
ln (TDPA)	9.3076	9.3060	9.2973	9.2903	9.1413	-0.0348	9.3382	0.5946	11364	-3.42

A continuación en la Figura 73 y Figura 74 se presentan los puntos aforadores.



Figura 73. Estación aforadora 46+000 Vist. H.-Bris.



Figura 74. Estación aforadora 55+900 Vist. H.-Bris.

#### 3.1.4.4. Clima

El clima que se tiene en la zona donde se encuentra el tramo es Semicálido subhúmedo con lluvias en verano (Ver Figura 75).



Figura 75. Clima de Vist. H.-Bris.

**FUENTE: CONAGUA.**

De la estación climatológica 00016030 Cuimato, Briseñas (Ver Figura 76), se obtuvieron los valores de temperatura media anual del período de 1981-2010 y precipitación media mensual de 1981-2007; estos valores son presentados en la Tabla 86.



Figura 76. Estación climatológica 00016030 Cuimato, Briseñas.

Tabla 86. Valores de temperatura media y precipitación mensual Vist. H.-Bris.

Datos climatológicos del tramo Vist. Herm.- Briseñas	
Parámetro	Valor
Temperatura media (°C)	19.4
Precipitación media mensual (mm)	69

FUENTE: CONAGUA.

### 3.1.4.5. Deflexiones

La medición de las deflexiones se realizó a 700 KPa con el deflectómetro de impacto (HWD) a cada 1000 m. En la Tabla 87 se presentan los resultados de la medición.

Tabla 87. Deflexiones de Vist. H.-Bris.

DEFLEXIONES NORMALIZADAS A 700 kPa, en mm.										
Ruta	Clave de carretera	km inicial	km final	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$	$\delta_7$
MX-110	16181	46.000	47.000	0.445	0.302	0.239	0.2	0.136	0.092	0.056
MX-110	16181	47.000	48.000	0.582	0.424	0.339	0.3	0.236	0.184	0.131
MX-110	16181	48.000	49.000	0.291	0.209	0.176	0.154	0.117	0.086	0.054
MX-110	16181	49.000	50.000	0.449	0.306	0.254	0.228	0.175	0.134	0.08
MX-110	16181	50.000	51.000	0.683	0.472	0.364	0.299	0.2	0.127	0.077
MX-110	16181	51.000	52.000	0.395	0.276	0.224	0.195	0.146	0.108	0.071
MX-110	16181	52.000	53.000	0.377	0.273	0.226	0.196	0.153	0.113	0.074
MX-110	16181	53.000	54.000	0.195	0.143	0.123	0.112	0.091	0.071	0.048
MX-110	16181	54.000	55.000	0.26	0.2	0.172	0.154	0.123	0.093	0.062
MX-110	16181	55.000	55.900	0.618	0.462	0.377	0.326	0.246	0.178	0.112

FUENTE: Contratistas.

Para el propósito de este trabajo se utilizará el valor de deflexión medido en el plato ( $\delta_1$ ), ya que éste genera la mayor deflexión (Ver Tabla 88).

Tabla 88. Deflexiones del plato Vist. H.-Bris.

Ruta	Clave de carretera	Cad. Final	Deflexión ( $\delta_1$ )
MX-110	16181	47+000	0.445
MX-110	16181	48+000	0.582
MX-110	16181	49+000	0.291
MX-110	16181	50+000	0.449
MX-110	16181	51+000	0.683
MX-110	16181	52+000	0.395
MX-110	16181	53+000	0.377
MX-110	16181	54+000	0.195
MX-110	16181	55+000	0.26
MX-110	16181	55+900	0.618

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.4.6. Profundidad de roderas

Los valores de profundidad de roderas medidos se observan en la Tabla 89, para obtenerlos se utilizó el perfilómetro láser en subtramos de 1000 m.

Tabla 89. Profundidad de roderas Vist. H.-Bris.

Profundidad de rodera				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	Prof. Rodera
MX-110	16181	46+000	47+000	3.9
MX-110	16181	47+000	48+000	3.9
MX-110	16181	48+000	49+000	4.5
MX-110	16181	49+000	50+000	5.1
MX-110	16181	50+000	51+000	3.2
MX-110	16181	51+000	52+000	4.2
MX-110	16181	52+000	53+000	3.5
MX-110	16181	53+000	54+000	3.8
MX-110	16181	54+000	55+000	3.9
MX-110	16181	55+000	55+900	4.2

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.4.7. IRI

Los valores de IRI medidos se observan en la Tabla 90, para obtenerlos se utilizó el perfilómetro láser en subtramos de 1000 m.

Tabla 90. IRI Vist. H.-Bris.

Índice Internacional de Regularidad				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	IRI
MX-110	16181	46+000	47+000	2.99
MX-110	16181	47+000	48+000	3.87
MX-110	16181	48+000	49+000	7.57
MX-110	16181	49+000	50+000	6.69
MX-110	16181	50+000	51+000	19.71
MX-110	16181	51+000	52+000	3.03
MX-110	16181	52+000	53+000	19.19
MX-110	16181	53+000	54+000	3.64
MX-110	16181	54+000	55+000	2.74
MX-110	16181	55+000	55+900	3.45

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.4.8. Resistencia al deslizamiento

Los valores de resistencia a deslizamiento medidos se observan en la Tabla 91, para obtenerlos se utilizó el Mu Meter MK 6 en subtramos de 1000 m.

Tabla 91. Resistencia al deslizamiento Vist. H.-Bris.

Resistencia al deslizamiento				
Ruta	Clave de carretera	Cad. Inicial	Cad. Final	Rest. Desliz.
MX-110	16181	46+000	47+000	0.43
MX-110	16181	47+000	48+000	0.43
MX-110	16181	48+000	49+000	0.43
MX-110	16181	49+000	50+000	0.41
MX-110	16181	50+000	51+000	0.41
MX-110	16181	51+000	52+000	0.48
MX-110	16181	52+000	53+000	0.53
MX-110	16181	53+000	54+000	0.53
MX-110	16181	54+000	55+000	0.49
MX-110	16181	55+000	55+900	0.42

FUENTE: Contratistas.

### 3.1.4.9. Deterioros

De acuerdo con el levantamiento de deterioros realizado sobre la superficie de rodadura, en la Tabla 92 se muestran los porcentajes correspondientes a cada deterioro observado.

Tabla 92. Deterioros Vist. H.-Bris.

Ubicación		Deterioros							Estado físico	Observaciones
		Rodera	Asent.	Agriet. Long.	Piel cocod.	Baches	Calav.	Descascaramiento		
Km inicial	Km final	%	%	%	%	%	%	%		
46+300	55+000	20	0	5	15	5	5	2	No satisfactorio	
55+000	55+900	15	8	5	10	0	0	0	Satisfactorio	ZONA URBANA PASO POR BRISEÑAS

FUENTE: Residencia General de Conservación de Carreteras Morelia.

De los deterioros inventariados, los que se ingresarán en el programa para representar la condición actual del pavimento son los siguientes:

#### 1.- Agrietamiento total estructural (ACA) y el agrietamiento estructural ancho (ACW).

En la Tabla 93 se presentan los valores de ACA y ACW, en porcentaje.

Tabla 93. Valores de ACA y ACW Vist. H.-Bris.

Ubicación		Piel cocod.	Agriet. T. Mapa	Agriet. Long.	Primera consideración	Segunda consideración	Agrietamiento estructural total	Agrietamiento estructural ancho
Km inicial	Km final	%	%	%			%	%
46+300	55+000	15	0	5	15	15	15	10
55+000	55+900	10	0	5	10	10	10	5

#### 2.- Agrietamiento térmico

En la Tabla 94 se presentan los valores del agrietamiento térmico, en porcentaje.

Tabla 94. Valores de agrietamiento térmico Vist. H.-Bris.

Ubicación		Agriet. Trans.	Agriet. T. Mapa	Agriet. Térmico
Km inicial	Km final	%	%	%
46+300	55+000	0	0	0
55+000	55+900	0	0	0

### 3.- Número de baches

En la Tabla 95 se presentan los valores de número de baches por Km.

Tabla 95. No. de baches Vist. H.-Bris.

Ubicación		Baches	No. de baches
Km inicial	Km final	%	
46+300	55+000	5	0
55+000	55+900	0	0

### 4.- Rotura de borde

En la Tabla 96 se presentan los valores de rotura de borde, en m<sup>2</sup>/Km.

Tabla 96. Valores de rotura de borde Vist. H.-Bris.

Ubicación		Desp. Borde	Ancho de calzada	Rotura de borde
Km inicial	Km final	%	m	m <sup>2</sup> /km
46+300	55+000	0	7	0
55+000	55+900	0	7	0

### 5.- Desprendimiento de agregados

Los valores de desprendimiento se presentan en la Tabla 97, en porcentaje.

Tabla 97. Valores de desprendimiento de agregados Vist. H.-Bris.

Ubicación		Calav.	Desprendimiento
Km inicial	Km final	%	%
46+300	55+000	5	5
55+000	55+900	0	0

Ya que se tiene la información necesaria, el siguiente paso es darle un pre-procesamiento, el cual consiste en llevar a cabo la segmentación homogénea y almacenar dicha información en un formato compatible con el HDM-4.

### 3.2. Pre-procesamiento de información

A la información obtenida se le tiene que hacer un procesamiento previo a ser ingresada al HDM-4 Versión 2.09.02. Primeramente se tienen que obtener las secciones homogéneas, estas representan la unidad básica de análisis del HDM-4, y las alternativas que serán evaluadas para tener el programa de conservación. En seguida se tiene que almacenar dicha información dentro del HDM-4; para que el almacenamiento sea rápido y sencillo, se utilizarán herramientas auxiliares compatibles con el HDM-4.

#### 3.2.1. Creación de secciones homogéneas

Para lograr tener las secciones homogéneas del tramo en estudio se necesita información objetiva de la estructura del camino, geometría, tránsito, clima, capacidad estructural y estado del pavimento (profundidad de rodera, IRI, resistencia al deslizamiento, agrietamiento estructural total, agrietamiento estructural ancho, agrietamiento térmico, No. de baches, rotura de borde y desprendimiento de agregados). La clave para realizar una segmentación adecuada, es identificar y relacionar las variables anteriormente mencionadas para tener secciones con características y comportamiento similar, y con longitudes razonables para el análisis.

Primeramente, se tiene que verificar cómo se registró cada uno de los parámetros para corroborar que se tienen de acuerdo a lo que se solicita.

Existen tres metodologías para llevar a cabo la segmentación: segmentación fija, segmentación dinámica y segmentación estática. Para este trabajo se decidió aplicar la segmentación dinámica con información agregada como se muestra en la Figura 77.

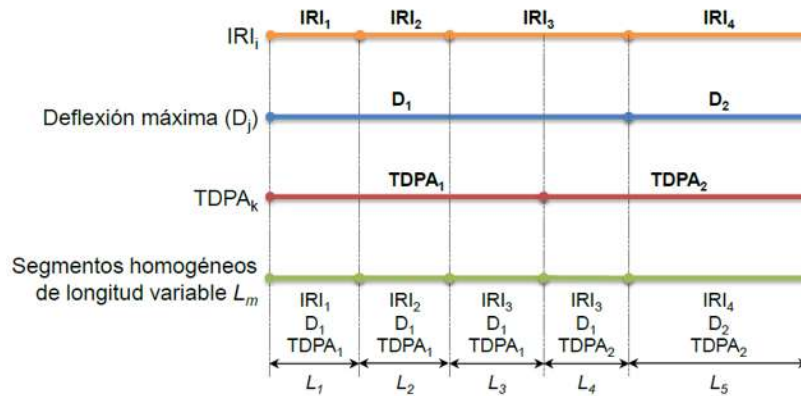
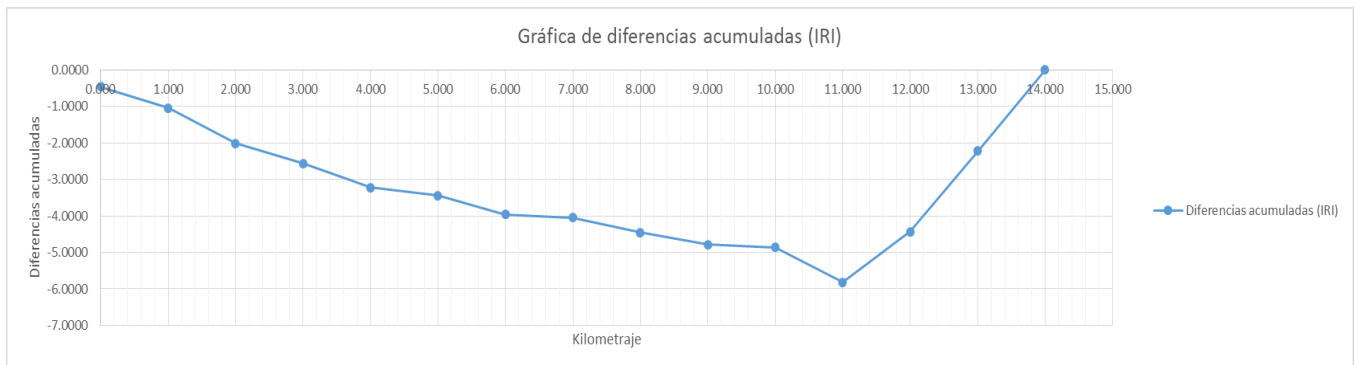


Figura 77. Segmentación dinámica con información agregada

FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte.

Esta metodología consiste, primeramente, en aplicar el método de diferencias acumuladas, presentado originalmente en la Guía de Diseño AASHTO de 1993, para identificar los puntos en los que el comportamiento de los datos cambia (Ver Gráfica 15), para así agrupar series de datos originales y obtener un dato representativo de cada serie, como se muestra en la Tabla 98.



Gráfica 15. Gráfica de diferencias acumuladas para IRI

Tabla 98. Valores representativos de las series delimitadas con diferencias acumuladas

km inicial	km final	IRI 2012(m/km)
0.000	1.000	3.43
1.000	2.000	3.31
2.000	3.000	2.93
3.000	4.000	3.34
4.000	5.000	3.23
5.000	6.000	3.67
6.000	7.000	3.38
7.000	8.000	3.8
8.000	9.000	3.49
9.000	10.000	3.56
10.000	11.000	3.82
11.000	12.000	2.93
12.000	13.000	5.28
13.000	14.000	6.11
14.000	14.700	6.11

Diferencias acumuladas	
-0.4627	-0.4627
-0.5827	-1.0453
-0.9627	-2.0080
-0.5527	-2.5607
-0.6627	-3.2233
-0.2227	-3.4460
-0.5127	-3.9587
-0.0927	-4.0513
-0.4027	-4.4540
-0.3327	-4.7867
-0.0727	-4.8593
-0.9627	-5.8220
1.3873	-4.4347
2.2173	-2.2173
2.2173	0.0000

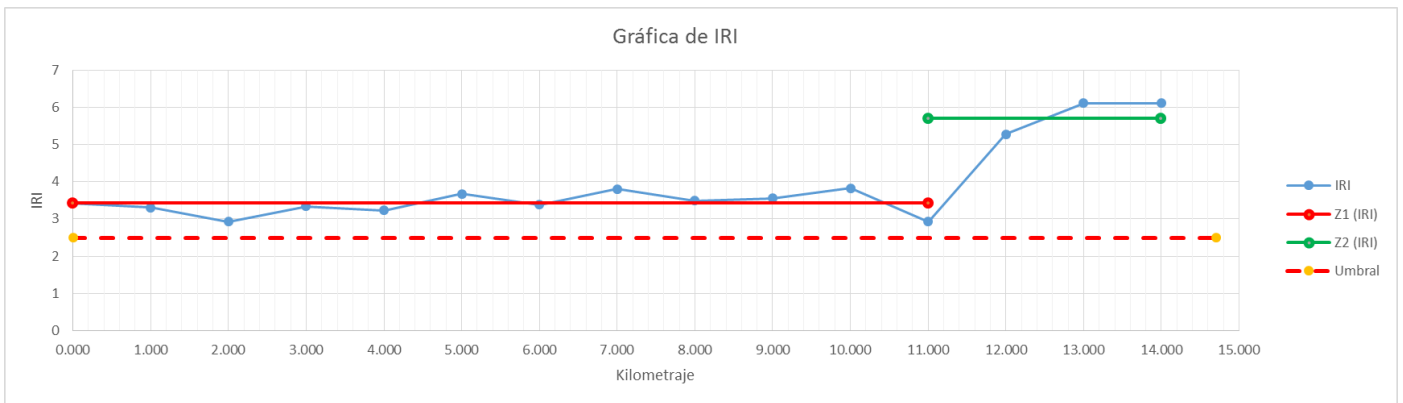
  

Zona	Km	IRI
Z1 (IRI)	5.000	3.74
	0.000	

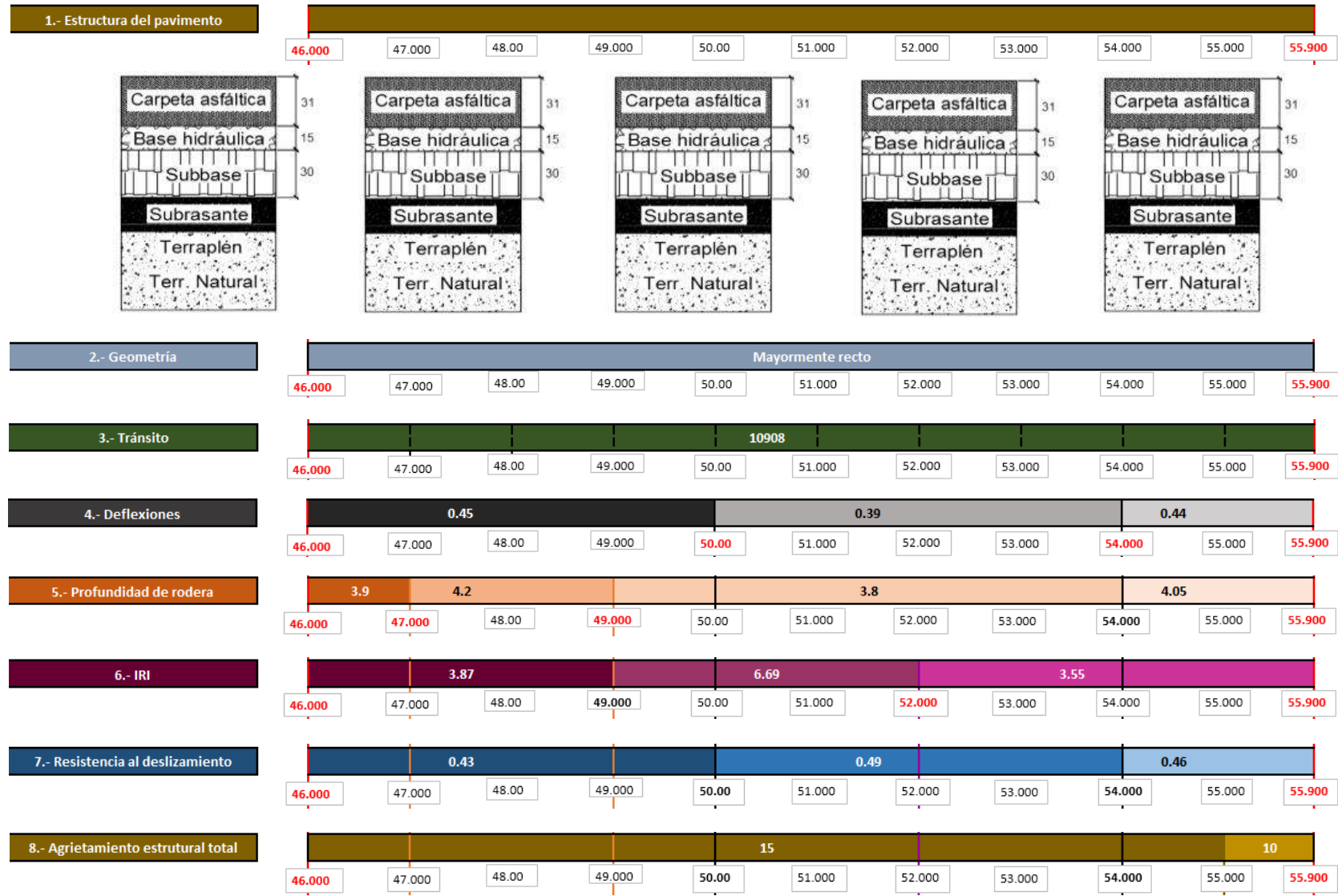
Zona	Km	IRI
Z2 (IRI)	11.000	5.70
	14.000	

Con la delimitación de subtramos lograda por estos puntos (Ver Gráfica 16) y los valores representativos encontrados de cada serie, se construyeron larguillos con dichos valores de cada parámetro (Ver Figura 78).



Gráfica 16. Delimitación de subtramos.

Ya generados los larguillos se procede a realizar la segmentación dinámica, la cual consiste en generar una nueva sección homogénea cada vez que exista algún cambio de valor en cualquier parámetro. Se tomó la consideración de que si se formaba una sección homogénea de menos de 1 Km, no se tomaría como tal, sino que la variación presentada de los valores de dicho parámetro se promediaría. Los tramos segmentados se encuentran en el Anexo 1.



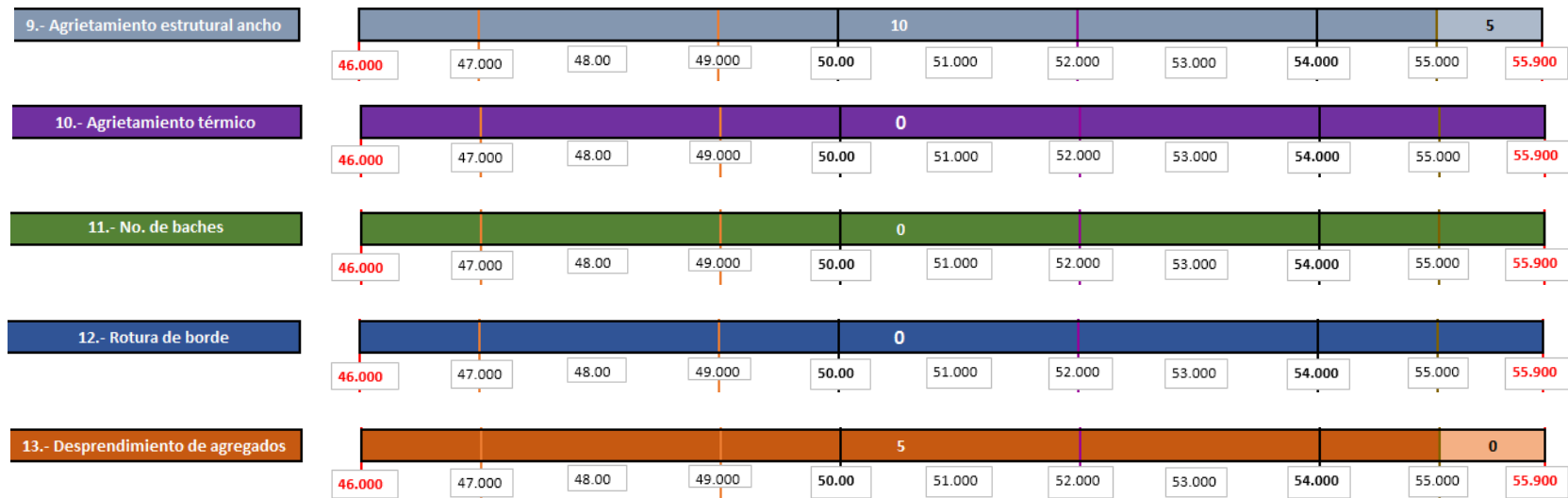
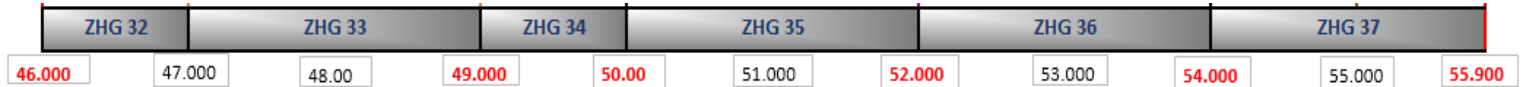


Figura 78. Larguillos para segmentación dinámica con información agregada

Terminado el proceso anteriormente descrito, en la Figura 79 se presentan las secciones homogéneas que resultaron.



<b>ZHG 31 de Km 46+000 al Km 47+000</b>
Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm
Tipo de terreno: Mayormente plano
TDPA: 10908
Deflexión: 0.45 mm
Profundidad de rodadura: 3.9 mm
IRI: 3.87 m/km
Resistencia al deslizamiento: 0.43 $\mu$
Agrietamiento estructural total: 15%
Agrietamiento estructural ancho: 10%
Agrietamiento térmico: 0%
No. de baches: 0%
Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km
Desprendimiento de agregados: 5%

<b>ZHG 32 de Km 47+000 al Km 49+000</b>
Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm
Tipo de terreno: Mayormente plano
TDPA: 10908
Deflexión: 0.45 mm
Profundidad de rodadura: 4.2 mm
IRI: 3.87 m/km
Resistencia al deslizamiento: 0.43 $\mu$
Agrietamiento estructural total: 15%
Agrietamiento estructural ancho: 10%
Agrietamiento térmico: 0%
No. de baches: 0%
Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km
Desprendimiento de agregados: 5%

<b>ZHG 33 de Km 49+000 al Km 50+000</b>
Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm
Tipo de terreno: Mayormente plano
TDPA: 10908
Deflexión: 0.45 mm
Profundidad de rodadura: 3.8 mm
IRI: 6.69 m/km
Resistencia al deslizamiento: 0.43 $\mu$
Agrietamiento estructural total: 15%
Agrietamiento estructural ancho: 10%
Agrietamiento térmico: 0%
No. de baches: 0%
Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km
Desprendimiento de agregados: 5%

ZHG 34 de Km 50+000 al Km 52+000	ZHG 35 de Km 52+000 al Km 54+000	ZHG 36 de Km 54+000 al Km 55+900
Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm	Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm	Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm
Tipo de terreno: Mayormente plano	Tipo de terreno: Mayormente plano	Tipo de terreno: Mayormente plano
TDPA: 10908	TDPA: 10908	TDPA: 10908
Deflexión: 0.39 mm	Deflexión: 0.39 mm	Deflexión: 0.44 mm
Profundidad de rodera: 3.8 mm	Profundidad de rodera: 3.8 mm	Profundidad de rodera: 4.05 mm
IRI: 6.69 m/km	IRI: 3.55 m/km	IRI: 3.55 m/km
Resistencia al deslizamiento: 0.49 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.49 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.46 $\mu$
Agrietamiento estructural total: 15%	Agrietamiento estructural total: 15%	Agrietamiento estructural total: 12.5%
Agrietamiento estructural ancho: 10%	Agrietamiento estructural ancho: 10%	Agrietamiento estructural ancho: 7.5%
Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%
No. de baches: 0%	No. de baches: 0%	No. de baches: 0%
Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km	Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km	Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km
Desprendimiento de agregados: 5%	Desprendimiento de agregados: 5%	Desprendimiento de agregados: 2.5%

Figura 79. Secciones homogéneas.

### 3.2.2. Definición de alternativas

En esta sección se explicará cómo se diseñan las alternativas de conservación posibles, para en conjunto con la demás información realizar el análisis correspondiente en HDM-4.

El ciclo de vida de una carretera es el principal dato en los trabajos de conservación.

Para identificar los objetivos y alternativas factibles de mantenimiento y rehabilitación se usan los modelos de deterioro para el costo y aplicabilidad en el análisis (Haas, Hudson, & Falls, 2015).

Antes de adentrarse en la elaboración de las alternativas, es necesario dejar en claro cómo se conforman de manera general estas mismas, para esto en la Figura 80 se presentan los elementos que conforman una alternativa y la relación que existe entre ellos de manera jerárquica.

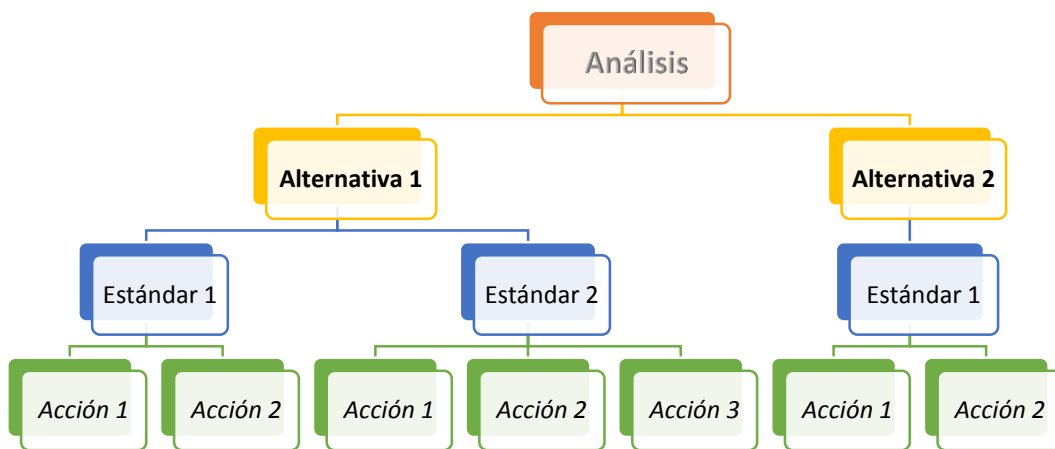


Figura 80. Componentes de alternativas

**FUENTE:** Instituto Mexicano del Transporte.

Como se mencionó anteriormente, el ciclo de vida es un parámetro importante en la definición de un estándar de conservación ya que influye directamente en los trabajos de conservación; con éste se impone un límite al nivel del deterioro que se presenta en el pavimento (Kerali, Odoki, & Stannard, 2006). Ante esto, en la figura anterior el estándar de conservación es el elemento principal dentro de un análisis de cualquier tipo.

En la Figura 81 se ilustra la conformación de un estándar de conservación.



Figura 81. Composición del estándar de conservación.

**FUENTE: Pontificia Universidad Católica de Chile.**

Para un inicio se decidió realizar un análisis sencillo con las alternativas que en el proyecto eran las adecuadas para cada tramo, estas se presentan en Tabla 99.

Tabla 99. Alternativas óptimas de contratistas.

Tramo	Alternativa óptima
Tramo Zacapu - Carapan del Km 82+000 al Km 93+000	Fresar 8 cm del pavimento existente, posteriormente colocar una base asfáltica de 10 cm y posteriormente una carpeta asfáltica de granulometría densa modificada con polímero de 5 cm de espesor.
Tramo Zacapu - Carapan del Km 93+000 al Km 99+000	Fresar 8 cm del pavimento existente, posteriormente colocar una base asfáltica de 10 cm y posteriormente una carpeta asfáltica de granulometría densa modificada con polímero de 5 cm de espesor.
Tramo Carapan - Zamora del Km 109+300 al Km 120+000	Fresar 20 cm del pavimento existente, posteriormente colocar una base asfáltica de 15 cm y una carpeta asfáltica de granulometría densa de 5 cm de espesor.
Tramo Carapan - Zamora del Km 120+000 al Km 131+000	Fresar 20 cm del pavimento existente, posteriormente colocar una base asfáltica de 15 cm y una carpeta asfáltica de granulometría densa de 5 cm de espesor.
Tramo Carapan - Zamora del Km 131+000 al Km 141+000	Fresar 20 cm del pavimento existente, posteriormente colocar una base asfáltica de 15 cm y una carpeta asfáltica de granulometría densa de 5 cm de espesor.
Tramo Lib. Nte. Zamora del Km 0+000 al Km 14+700	Fresar 10 cm del pavimento existente, posteriormente colocar una carpeta asfáltica densa de 10 cm.
Tramo Vist. Hermosa - Briseñas del Km 46+000 al Km 55+900	Fresar 15 cm del pavimento existente, posteriormente colocar una base asfáltica de 10 cm y una carpeta asfáltica de granulometría densa modificada con polímero de 12 cm de espesor.

**FUENTE: CONTRATISTAS.**

Sintetizando las alternativas anteriores, en el análisis se definieron dos alternativas por cada tramo con sus respectivos estándares y acciones de conservación (Ver Figura 82, Figura 83, Figura 84 y Figura 85).

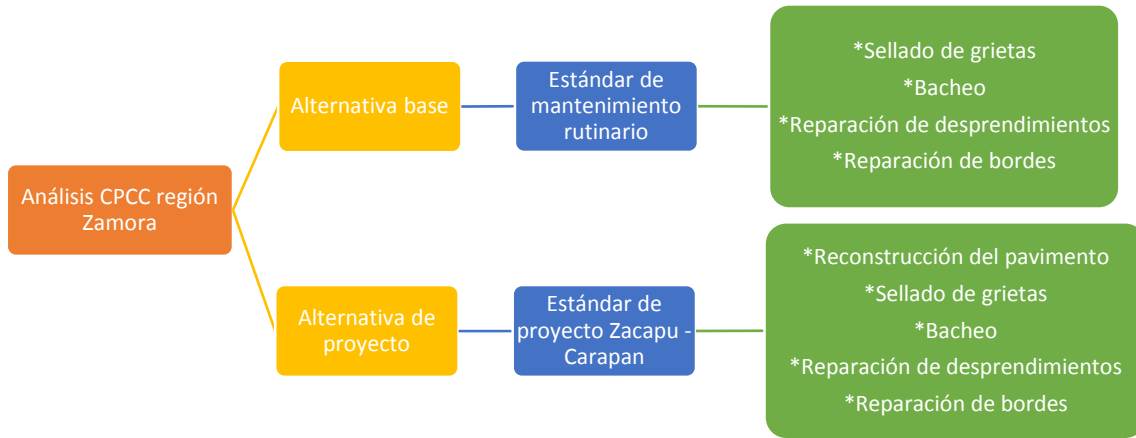


Figura 82. Alternativas de contratistas Zacapu-Carapan.



Figura 83. Alternativas de contratistas Carapan-Zamora.

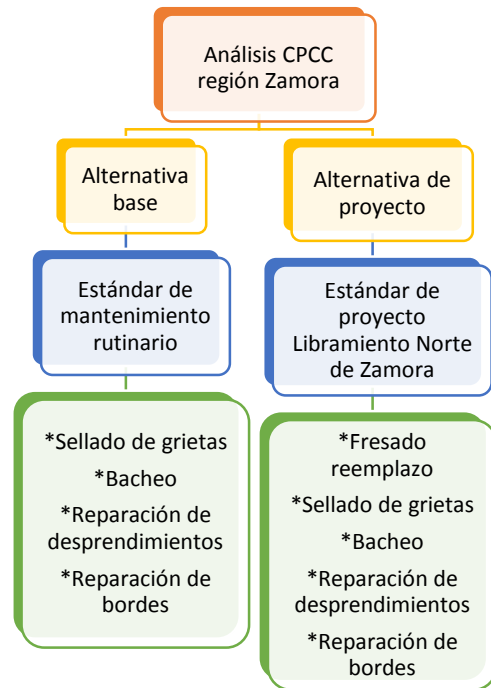


Figura 84. Alternativas de contratistas Libramiento Norte de Zamora.

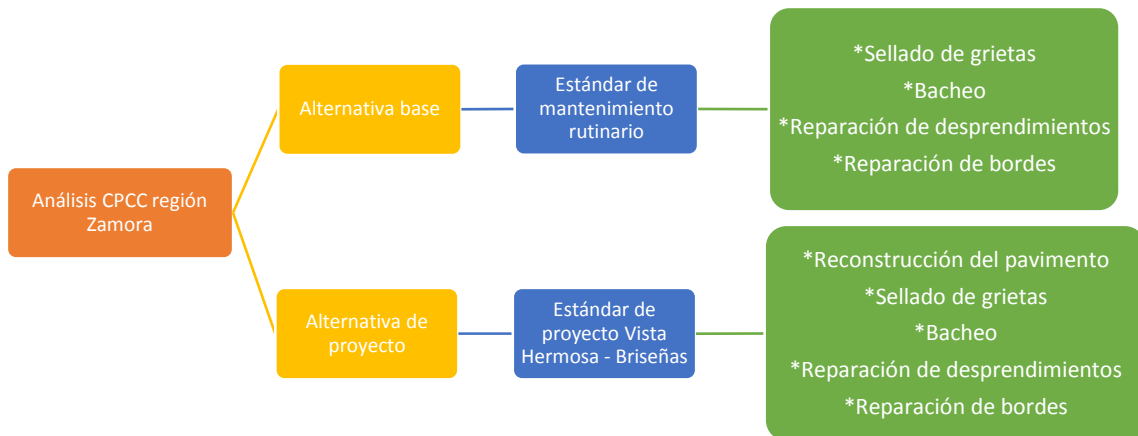


Figura 85. Alternativas de contratistas Vista Hermosa-Briseñas.

Es importante mencionar que el estándar de mantenimiento rutinario fue definido y proporcionado por el Instituto Mexicano del Transporte en un archivo de Access, éste se integró en cada alternativa para llevar los análisis necesarios.

Una de las partes importantes en el diseño de las acciones de conservación, es la condición estructural, o sea, la resistencia que estas presentan. (Odoki & Kerali, 2006) citan a (Parkman and Rolt, 1997), los cuales indican que la resistencia del pavimento es caracterizada por el número estructural ajustado (SNP); por lo cual, es necesario conocer la aportación estructural de cada capa para determinarlo. A continuación, se muestra la Ecuación 4 para el cálculo del número estructural ajustado del pavimento, y la Ecuación 5, Ecuación 6 y Ecuación 7 para el cálculo del aporte estructural de la capa superficial o de la base, sub-base y sub-rasante, respectivamente.

$$SNP_s = SNBASU_s + SNSUBA_s + SNSUBG_s$$

Ecuación 4. Cálculo de número estructural ajustado (SNP).

Donde:

$SNP_s$ : Número estructural ajustado del pavimento por temporada (s).

$SNBASU_s$ : Contribución de las capas de superficie y de base por temporada (s).

$SNSUBA_s$ : Contribución de la sub-base o capas de relleno por temporada (s).

$SNSUBG_s$ : Contribución de la sub-rasante por temporada (s).

$$SNBASU_s = 0.0394 \sum_{i=1}^n a_{is} h_i$$

Ecuación 5. Cálculo de número estructural de capa superficial y de base (SNBASU).

Donde:

$a_{is}$ : Coeficiente de capa para base o capa superficial (i) por temporada (s).

$h_i$ : Espesor de base o capa superficial (i) (mm).

$n$ : Número de capas de base y de superficie (i).

$$SNSUBA_s = 0.0394 \sum_{j=1}^m a_{js} \left\{ \left( \frac{b_0 \exp(-b_3 Z_j)}{-b_3} + \frac{b_1 \exp(-(b_2 + b_3) Z_j)}{(b_2 + b_3)} \right) - \left( \frac{b_0 \exp(-b_3 Z_{j-1})}{-b_3} + \frac{b_1 \exp(-(b_2 + b_3) Z_{j-1})}{(b_2 + b_3)} \right) \right\}$$

Ecuación 6. Cálculo de número estructural de sub-base (SNSUBA).

Donde:

$m$ : Número de capas de sub-base o capas de relleno seleccionadas (j).

$a_{js}$ : Coeficiente de capa para sub-base o capas de relleno seleccionadas (j) por temporada (s).

$b_0, b_1, b_2, b_3$ : Coeficientes de modelaje (Ver Tabla 100).

Tabla 100. Coeficientes de modelaje.

Coeficientes para el modelado del número estructural ajustado			
b0	b1	b2	b3
1.6	0.6	0.008	0.00207

FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management: Volume 4

Z: Profundidad medida desde lo alto de la sub-base (Debajo de la base) (mm).

Z<sub>j</sub>: Profundidad medida debajo de la capa j (Z<sub>0</sub> = 0) (mm) (Ver Figura 86).

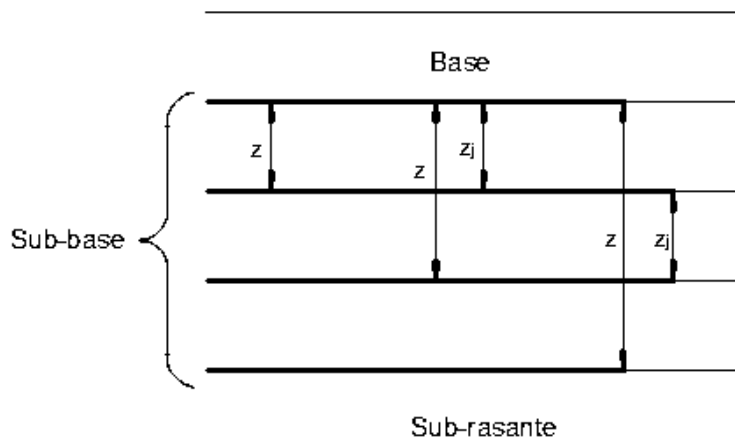


Figura 86. Profundidades de Z y Z<sub>j</sub> para el cálculo de SNSUBA.

$$SNSUBG_s = [b_0 - b_1 \exp(-b_2 Z_m)] [\exp(-b_3 Z_m)] [3.51 \log_{10} CBR_s - 0.85 (\log_{10} CBR_s)^2 - 1.43]$$

Ecuación 7. Cálculo de número estructural de sub-rasante (SNSUBG).

Donde:

Z<sub>m</sub>: Espesor de capas de sub-base o de relleno seleccionado por temporada (s) (Ver Figura 87).

CBR<sub>s</sub>: CBR de la capa sub-rasante in situ por temporada (s).

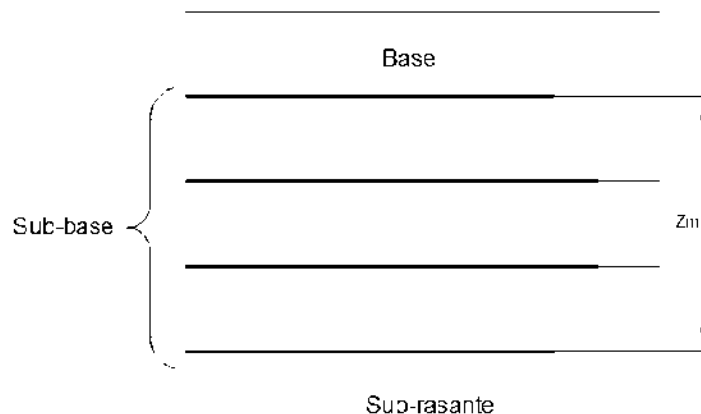


Figura 87. Profundidad de Zm para el cálculo de SNSUBG.

(Odoki & Kerali, 2006) citan a Watanatada T., Harral C.G., Paterson W.D.O., Dhareshwar A.M., Bhandari A., and Tsunokawa K., 1987, los cuales en la Tabla 101 definen la forma para determinar los coeficientes de resistencia por capa.

Tabla 101. Coeficientes de resistencia por capa.

Capa	Tipo de capa	Condición	Coefficiente
Superficie	ST	Usualmente 0.2	$a_i = 0.20$ a $0.40$
	AM	$h_i < 30$ mm, baja estabilidad y mezclas en frío	$a_i = 0.20$
		$h_i > 30$ mm, $MR_{30} = 1500$ Mpa	$a_i = 0.30$
		$h_i > 30$ mm, $MR_{30} = 2500$ MPa	$a_i = 0.40$
		$h_i > 30$ mm, $MR_{30} \geq 4000$ MPa	$a_i = 0.45$
Base	GB	Predeterminado	$a_i = (29.14 \text{ CBR} - 0.1977 \text{ CBR}^2 + 0.00045 \text{ CBR}^3) * 0.0001$
		$\text{CBR} > 70$ , sub-base cementada	$a_i = 1.6 * (29.14 \text{ CBR} - 0.1977 \text{ CBR}^2 + 0.00045 \text{ CBR}^3) * 0.0001$
		$\text{CBR} < 60$ , carga máxima en el eje $> 80$ KN	$a_i = 0$
	AB, AP	Graduación densa con alta rigidez	$a_i = 0.32$
	SB	Limo o cemento	$a_i = 0.075 + 0.039 \text{ UCS} - 0.00088 (\text{UCS})^2$
Sub-base		Granular	$a_j = -0.075 + 0.184 (\log_{10} \text{ CBR}) - 0.0444 (\log_{10} \text{ CBR})^2$
		Cemento $\text{UCS} > 0.7$ Mpa	$a_j = 0.14$

FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management: Volume 4.

Los tipos de capas de la tabla anterior son los mismos que los que se presentan en el Anexo 2 en las tablas de tipo de superficie y tipo de base.

Es importante mencionar que para la capa de sub-base y sub-rasante, en la metodología de HDM-4, se consideran los siguientes aspectos:

- 1.- La o las capas de sub-base se toman desde la parte inferior de la base hasta la parte superior de la capa donde el espesor empieza a ser semi-infinito.
- 2.- La capa de sub-rasante se toma como la capa donde empieza a ser semi-infinito su espesor.

En la Figura 88 se ejemplifica lo anterior.

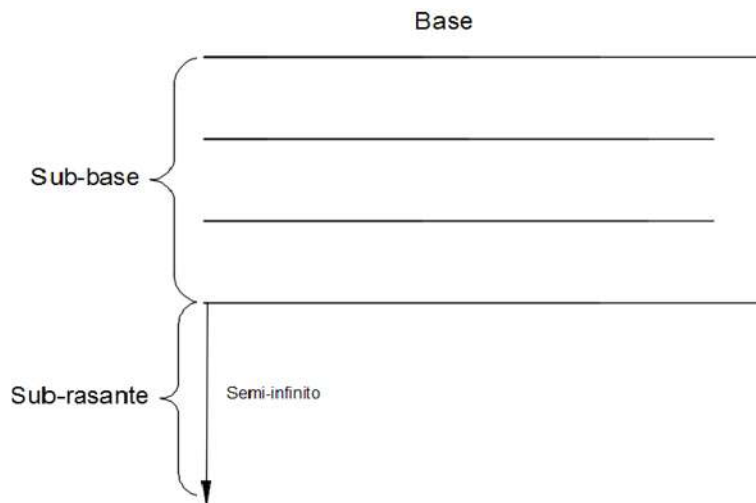


Figura 88. Consideración para sub-rasante.

De la Tabla 102 a la Tabla 108 se muestran los resultados de espesores y del SNP de cada tramo.

**\*Tramo Zacapu – Carapan (reconstrucción).**

Tabla 102. Espesores y SNP 82-93.

Zacapu - Carapan, km. 82+000 al 93+000					
Capa	h (mm)	E (MPa)	VRS	a	Contribución
CA	50	2942		0.415	0.82
BA	130	2452		0.320	1.64
BH	200	274	80	0.130	1.02
SB	400	200	51	0.110	1.63
SR		55	8		0.72
			<b>SNP</b>		<b>5.11</b>

Tabla 103. Espesores y SNP 93-109.3.

Zacapu - Carapan, km. 93+000 - 109+300					
Capa	h (mm)	E (MPa)	VRS	a	Contribución
CA	50	2942		0.415	0.82
BA	170	1765		0.320	2.14
BH	180	316	98	0.138	0.98
SB	400	237	65	0.113	1.67
SR		89	16		1.08
			<b>SNP</b>		<b>5.61</b>

**\*Tramo Carapan - Zamora (reconstrucción).**

Tabla 104. Espesores y SNP 109.3-120.

Carapan - Zamora, km. 109+300 al 120+000					
Capa	h (mm)	E (MPa)	VRS	a	Contribución
CA	50	2942		0.415	0.82
BA	150	2452		0.320	1.89
BH	199	292	87.83	0.134	1.05
SB 1	152	257	73.1	0.114	1.26
SB 2	162	242	67	0.113	0.16
SR		234	63.9		1.73
			<b>SNP</b>		<b>5.18</b>

Tabla 105. Espesores y SNP 120-131.

Carapan - Zamora, km. 120+000 - 131+000					
Capa	h (mm)	E (MPa)	VRS	a	Contribución
CA	50	2942		0.415	0.82
BA	150	2452		0.320	1.89
BH	163	296	89.3	0.135	0.86
SB 1	121	268	77.4	0.114	1.12
SB 2	197	233	63.6	0.112	0.50
SR		72	12		1.10
			<b>SNP</b>		<b>5.19</b>

Tabla 106. Espesores y SNP 131-141.4.

Carapan - Zamora, km. 131+000 - 141+400					
Capa	h (mm)	E (MPa)	VRS	a	Contribución
CA	50	2942		0.415	0.82
BA	205	2452		0.320	2.58
BH	190	315	97.85	0.138	1.03
SB 1	184	278	81.65	0.114	1.42
SB 2	300	268	77.3	0.114	0.56
SR		219	58.2		1.23
			<b>SNP</b>		<b>6.41</b>

### \*Libramiento Norte de Zamora (fresado y reemplazo)

Tabla 107. Espesores y SNP 0-14.7.

Libramiento norte de Zamora, km. 0+000 al 14+700					
Capa	h (mm)	E (MPa)	VRS	a	Contribución
CA	100	2942		0.4147	1.63
BA	20	2079		0.3200	0.25
BH	171	290	86.7	0.1334	0.90
SB 1	213	308	94.38	0.1152	1.55
SB 2	314	300	91.22	0.1151	0.47
SR		291	87.21		1.17
			<b>SNP</b>		<b>4.81</b>

**\*Tramo Vista Hermosa – Briseñas (reconstrucción).**

Tabla 108. Espesores y SNP 46-55.9.

Vista Hermosa - Briseñas, km. 46+000 al 55+900					
Capa	h (mm)	E (MPa)	VRS	a	Contribución
CA	120	2942		0.41	1.96
BA	260	1961		0.32	3.28
BH	150	302	91.86	0.14	0.80
SB	300	254	71.79	0.11	1.88
SR		40	5.2		0.54
				<b>SNP</b>	<b>7.92</b>

Terminado el análisis de las alternativas que en el proyecto resultaron ser las óptimas, se definirán distintas alternativas basadas en las que ya se tienen, adicionando acciones de conservación y con distintos criterios de intervención. Estas alternativas se conformaron tomando en cuenta la Tabla 109, Tabla 110 y Tabla 111.

Además de las tablas anteriores, de igual manera se toma en cuenta la Tabla 112, en la que se presentan las acciones de conservación disponibles en el HDM-4 y su jerarquización.

Tabla 109. Guía 1 para armar alternativas.

Tipo	Acción	TD	ES	IRI	CE	TS
Mantenimiento de rutina	Mantenimiento de obras de drenaje	•				
	Sellado de grietas	•	•			
	Reparación de borde	•	•			
	Bacheo	•	•			
Mantenimiento periódico	Tratamientos preventivos	•				
	Riegos de sello	•	•			•
	Riegos de sello con corrección de forma	•	•	•		•
	Sobrecarpeta	•	•	•	•	•
	Reciclado	•	•	•	•	•
Reconstrucción	Reconstrucción	•	•	•	•	•

<b>TD</b>	Tasa de deterioro
<b>ES</b>	Espacio superficial
<b>IRI</b>	Irregularidad
<b>CE</b>	Capacidad estructural
<b>TS</b>	Textura superficial

FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte

Tabla 110. Guía 2 para armar alternativas.

Categoría	Clase	Tipo	Trabajos
Conservación	Mantenimiento rutinario	Pavimento	Bacheo, reparación de bordes, sellado de grietas
		Drenaje	Reparación de alcantarillas, limpieza de cunetas
		Misceláneo	Control de vegetación, repintado de raya, reposición de señales
	Mantenimiento periódico	Tratamiento preventivo	Riego de impregnación, rejuvenecimiento
		Tratamiento superficial	Riego de sello, mortero asfáltico
		Rehabilitación	Sobrecarpeta, reciclado
		reconstrucción	Reconstrucción parcial o total
Desarrollo	Mejoramiento	Ampliación de la sección	Ampliación de carriles, adición de un nuevo carril
		Corrección del trazo	Rectificación de los aineamientos horizontal y vertical, mejora de intersecciones
		Fuera de la calzada	Adición o mejoramiento de acotamientos o drenaje
	Construcción	Actualización	Cambio de superficie de rodamiento
		Nuevo tramo	Cuerpo o tramos nuevos

FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management. Volume Four: Analytical Framework and Model Descriptions

Tabla 111. Guía 3 para armar alternativas.

No.	Tratamiento	Tipo	Aplicabilidad	Costo unitario	Vida de servicio esperada	Efecto esperado	Observaciones
1	Sobrecarpeta delgada (40 mm o menos espesor).	PM	Pavimentos irregulares con o sin deficiencias en la superficie pero estructuralmente adecuados; puede ser aplicada en pavimentos estructuralmente inadecuados para aplazar una ampliación o reconstrucción. No debería ser considerada para caminos con alto volumen vehicular.	\$6.00/m <sup>2</sup> a \$7.50/m <sup>2</sup>	Pavimentos estructuralmente adecuados: ≤ 10 años	Reduce IRI	*Pueden tratarse los carriles o el ancho completo. *Puede no ser para conocer las especificaciones de suavidad QA.
					Pavimentos estructuralmente inadecuados: ≤ 5 años		
2	Renivelado con un microfresado en frío y sobrecarpeta	SP	Pavimentos irregulares con o sin deficiencias en la superficie y necesidades modestas de refuerzo.	\$9.00/m <sup>2</sup>	≤ 15 años	Reduce IRI y mejorar la rugosidad; restaura la integridad estructural.	*Sobrecarpeta basada en el diseño estructural.
3	Microfresado en frío y fresado parcial, o reciclado en caliente en sitio de carriles, más sobrecarpeta	SP	Pavimentos con deficiencias severas en la superficie y necesidades de refuerzo determinadas por la evaluación de la condición y/o pruebas de deflexión u otros medios.	\$15.00/m <sup>2</sup> a \$16.50/m <sup>2</sup>	≤ 15 años	Reduce IRI y mejorar la rugosidad; restaura la integridad estructural.	*Sobrecarpeta basada en el diseño estructural.
4	Sobrecarpeta estructural	SP	Pavimentos estructuralmente deficientes determinados por la evaluación de la condición y/o pruebas de deflexión u otros medios.	\$10.50/m <sup>2</sup> a \$16.50/m <sup>2</sup>	Diseño para 10 años: 10 años	Reduce IRI y mejorar la rugosidad; incrementa o restaura la integridad estructural.	*La deficiencia estructural puede resultar de subdiseño o del incremento de cargas vehiculares. *El espesor de la sobrecarpeta está basado en el diseño estructural.
					Diseño para 20 años: 20 años		
5	Microfresado en frío y fresado parcial	PM	Irregularidad y/o roderas pero pavimentos estructuralmente adecuados; medida provisionalmente para mejorar la calidad del camino hasta que se necesite una sobrecarpeta.	\$9.00/m <sup>2</sup>	Pavimentos estructuralmente adecuados: ≤ 10 años	Reduce IRI y mejorar la condición de la superficie	*Tradicionalmente microfresado en frío de 50 mm. *Tratamiento aplicado sólo en los carriles.
					Pavimentos estructuralmente inadecuados: <10 años		
6	Reciclado en caliente en sitio	PM	Irregularidad pero pavimentos estructuralmente adecuados; medida provisionalmente para mejorar la calidad del camino hasta que se necesite una sobrecarpeta.	\$7.50/m <sup>2</sup>	Pavimentos estructuralmente adecuados: ≤ 8 años	Reduce IRI y mejorar la condición de la superficie	*Pavimentos con deficiencias severas pueden no ser candidatos. *Capas de sello, bacheo y sellado de grietas puede afectar la calidad de la mezcla. *Tratamiento aplicado sólo en carriles.
					Pavimentos estructuralmente inadecuados: <8 años		
7	Microcarpeta	PM	Buena condición estructural, pavimentos lisos relativamente con pocos deterioros; también puede ser usado como tratamiento de relleno de roderas.	\$4.50/m <sup>2</sup> a \$6.00/m <sup>2</sup>	5 años	Sella la superficie y puede incrementar la fricción en la superficie.	*Puede ser apropiada para aplicaciones semi-urbanas.
8	Chip seal (riego de sello)	PM	Buena condición estructural, pavimentos lisos relativamente con pocos deterioros.	\$3.75/m <sup>2</sup>	≤ 7 años	Restaura la fricción de la superficie; aumenta a vida de servicio del pavimento.	*No aporta resistencia estructural.
9	Reciclado en frío en sitio	RC	Pavimentos para los cuales el mantenimiento preventivo o la rehabilitación no son opción (excesiva irregularidad y/o daño estructural).	≈ \$37.50/m <sup>2</sup>	≤ 20 años	Restaura el IRI y la integridad estructural.	*Necesita una superficie rodadura
10	Recuperación y estabilización	RC	Pavimentos para los cuales el mantenimiento preventivo o la rehabilitación no son opción (excesiva irregularidad y/o daño estructural).	≈ \$37.50/m <sup>2</sup>	≤ 20 años	Restaura el IRI y la integridad estructural.	*Necesita una superficie rodadura
11	Reconstrucción	RC	Pavimentos para los cuales el mantenimiento preventivo o la rehabilitación no son opción (excesiva irregularidad y/o daño estructural).	≈ \$37.50/m <sup>2</sup>	20 años	Restaura el IRI y la integridad estructural.	*Reemplaza las estructura existente.

PM: Mantenimiento preventivo SP: Preservación estructural RC: Reconstrucción

FUENTE: Pavement Asset Management.

Tabla 112. Jerarquización de acciones de conservación.

Tipo de trabajo	Acciones	Jerarquía	Costo unitario
Nueva sección	Construcción de una nueva sección de análisis	1	Por Km
Mejoramiento	Mejoramiento a una nueva clase de capa superficial	2	Por Km
Realineamiento	Realineamiento de la geometría	3	Por Km
Ensanchamiento	Adición de carril	4	Por m <sup>2</sup> o por Km
	Ansanchamiento parcial	5	Por m <sup>2</sup> o por Km
Reconstrucción	Reconstrucción de pavimento	6	Por m <sup>2</sup> o por Km
Rehabilitación	Fresado y reemplazo	7	Por m <sup>2</sup>
	Sobrecapa de asfalto aulado	8	Por m <sup>2</sup>
	Sobrecapa de mezcla densa	9	Por m <sup>2</sup>
	Sobrecarpeta de mezcla drenante (open grade)	10	Por m <sup>2</sup>
	Fresado y reemplazo parcial	11	Por m <sup>2</sup>
	Sobrecarpeta delgada	12	Por m <sup>2</sup>
Tratamiento superficial	Riego de sello y lechada asfáltica con corrección de forma	13	Por m <sup>2</sup>
	Riego de sello y lechada asfáltica (cape seal)	14	Por m <sup>2</sup>
	Doble riego de sello con corrección de forma	15	Por m <sup>2</sup>
	Doble riego de sello	16	Por m <sup>2</sup>
	Riego de sello con corrección de forma	17	Por m <sup>2</sup>
	Riego de sello (Chip seal)	18	Por m <sup>2</sup>
	Mortero asfáltico (slurry seal)	19	Por m <sup>2</sup>
Tratamiento preventivo	Riego de impregnación (fog seal)	20	Por m <sup>2</sup>
	Rejuvenecimiento	21	Por m <sup>2</sup>
Rutinaria	Reparación de borde	22	Por m <sup>2</sup>
	Bacheo	22	Por m <sup>2</sup>
	Sellado de grietas	22	Por m <sup>2</sup>
Drenaje	Drenaje	23	Por Km

FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management. Volume Four: Analytical Framework and Model Descriptions.

Habiendo analizado lo anterior, se armaron tres alternativas de conservación por tramo, a continuación se presentan en la Tabla 113, Tabla 114, Tabla 115 y Tabla 116.

Tabla 113. Alternativas de conservación Zacapu-Carapan.

Tramo Zacapu-Carapan			
Alternativas	Estándares	Acciones	Criterios
Alternativa Base	Est. de mantenimiento de rutina 2012	Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 1 Zac-Car 2012	Est. 1 Zacapu-Carapan 2012	Reconstrucción; FR=8 cm, BA=10 cm y CA=5cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 1 Zac-Car 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 1 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		
Alt. 2 Zac-Car 2012	Est. 2 Zacapu-Carapan 2012	Fresado de 5cm y reemplazo 10 cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 2 Zac-Car 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 2 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		
Alt. 3 Zac-Car 2012	Est. 3 Zacapu-Carapan 2012	Sobrecarpeta de mezcla densa de 5 cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 3 Zac-Car 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 3 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		

Tabla 114. Alternativas de conservación Carapan-Zamora.

Tramo Carapan-Zamora			
Alternativas	Estándares	Acciones	Criterios
Alternativa Base	Est. de mantenimiento de rutina 2012	Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 1 Car-Zam 2012	Est. 1 Carapan-Zamora 2012	Reconstrucción; FR= 20 cm, BA=15 cm y CA=5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 1 Car-Zam 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 1 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		
Alt. 2 Car-Zam 2012	Est. 2 Carapan-Zamora 2012	Fresado de 10 cm y reemplazo 10 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 2 Car-Zam 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 2 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		
Alt. 3 Car-Zam 2012	Est. 3 Carapan-Zamora 2012	Sobrecarpeta de mezcla densa de 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 3 Car-Zam 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 3 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		

Tabla 115. Alternativas de conservación Libramiento Norte de Zamora.

Tramo Libramiento Norte de Zamora			
Alternativas	Estándares	Acciones	Criterios
Alternativa Base	Est. de mantenimiento de rutina 2012	Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 1 Lib. Nte. Zam. 2012	Est. 1 Libramiento Norte de Zamora 2012	Fresado de 10 cm y reemplazo 10 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 1 Lib. Nte. Zam. 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 1 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		
Alt. 2 Lib. Nte. Zam. 2012	Est. 2 Libramiento Norte de Zamora 2012	Reconstrucción; FR= 10 cm, BA=10 cm y CA=10 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 2 Lib. Nte. Zam. 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 2 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		
Alt. 3 Lib. Nte. Zam. 2012	Est. 3 Libramiento Norte de Zamora 2012	Sobrecarpeta de mezcla densa de 7 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 3 Lib. Nte. Zam. 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 3 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		

Tabla 116. Alternativas de conservación Vista Hermosa-Briseñas.

Tramo Vista Hermosa-Briseñas			
Alternativas	Estándares	Acciones	Criterios
Alternativa Base	Est. de mantenimiento de rutina 2012	Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 1 Vist. H. - Bris. 2012	Est. 1 Vista Hermosa - Briseñas 2012	Reconstrucción; FR= 15 cm, BA=10 cm y CA=12 cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 1 Vist. H. - Bris. 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 1 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		
Alt. 2 Vist. H. - Bris. 2012	Est. 2 Vista Hermosa - Briseñas 2012	Fresado de 10 cm y reemplazo 10 cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 2 Vist. H. - Bris. 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 2 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		
Alt. 3 Vist. H. - Bris. 2012	Est. 3 Vista Hermosa - Briseñas 2012	Sobrecarpeta de mezcla densa de 10 cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$
		Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$
		Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$
Alt. 3 Vist. H. - Bris. 2013 y 2014	Se aplican las mismas acciones de conservación del Est. 3 Zacapu-Zarapn 2012 y se adiciona el Est. de mantenimiento de rutina 2012		

Estas alternativas se evaluarán con corridas en el HDM-4 para observar su comportamiento.

### 3.2.3. Almacenamiento de información en HDM-4

Para alimentar al HDM-4 se ingresará una parte de la información de manera directa en el programa, y para la otra parte, se utilizará el programa Microsoft Access y Microsoft Excel, para en seguida, importar dicha información al HDM-4 y realizar el análisis.

#### 3.2.3.1. Configuración

Para iniciar se abre un nuevo espacio de trabajo en el cual se irá almacenando toda la información. Lo recomendable es, primeramente, ajustar la parte de **configuración** a nuestras condiciones; para esto, se llenará y modificará cada una de las partes que conforman esta sección (Ver Figura 89).

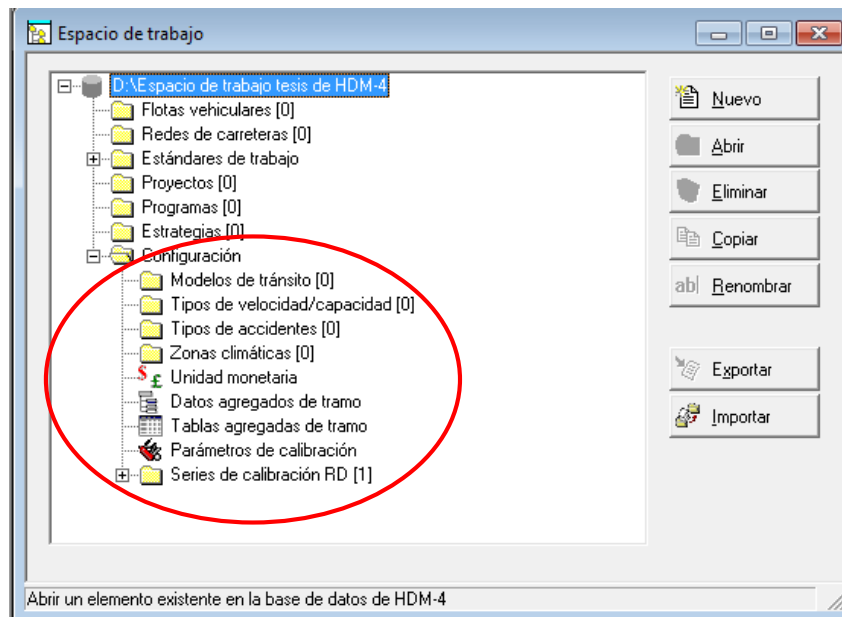


Figura 89. Elementos que conforman la sección de Configuración.

FUENTE: HDM-4 Highway Development & Management.

## 1.- Serie de calibración

Una serie de calibración permite definir conjuntos de coeficientes de calibración de tramos para la variedad de tipos de pavimentos existentes que caracterizan la red por medio de juegos de calibración. Se hace un juego de calibración para cada tipo de superficie (asfáltica, concreto y sin pavimentar), éste queda definido por un nombre único, y una serie de coeficientes de calibración especificados por el usuario.

En la Figura 90 se observa la nueva serie de calibración a la cual se dio el nombre de “Serie CPCC”, en esta se agregaron 4 juegos con sus respectivos parámetros: Mezcla asfáltica sobre base granular (AMGB), mezcla asfáltica sobre base granular con acotamientos (AMGB acotamiento), mezcla asfáltica sobre pavimento asfáltico (AMAP) y mezcla asfáltica sobre pavimento asfáltico con acotamientos (AMAP acotamiento). Es importante hacer notar que si se tienen acotamientos, se tiene que definir el valor del desnivel (Ver Figura 91).

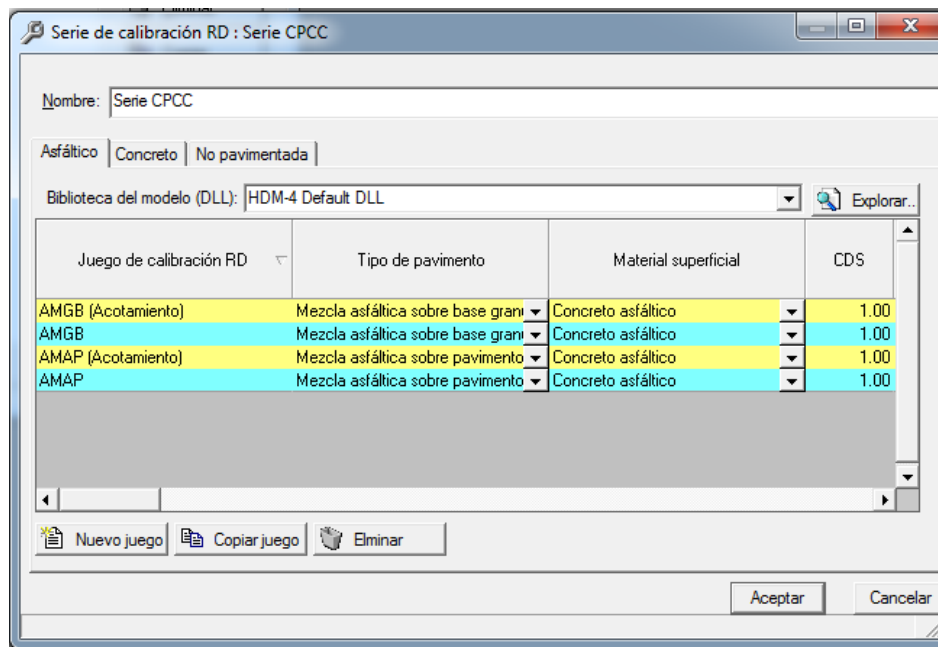


Figura 90. Definición de la serie de calibración CPCC.

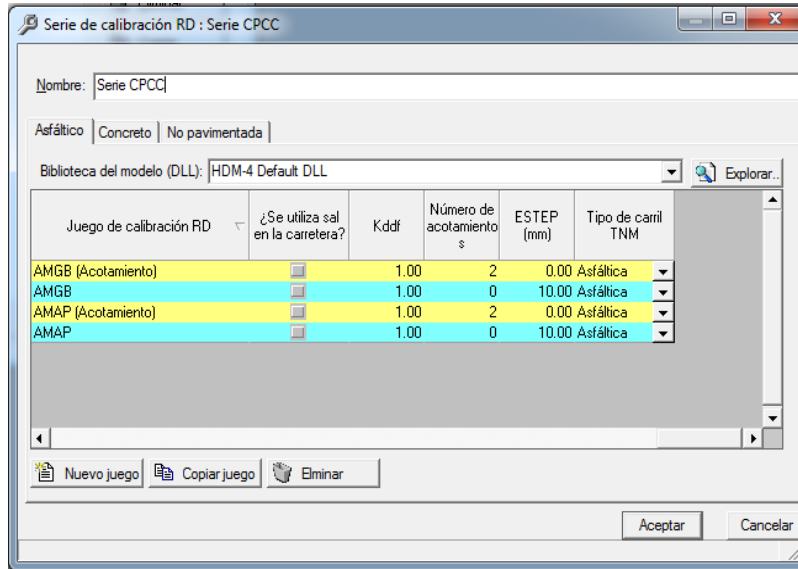


Figura 91. Detalles de acotamiento en serie de calibración.

La nomenclatura utilizada para los juegos de calibración está basada en la terminología utilizada en el Volumen 4 del Manual de HDM-4, que se presenta en las tablas contenidas en el Anexo 2, junto con el significado de cada sigla.

En este trabajo se acordó que cuando se tuvieran espesores de carpeta asfáltica 15 cm o mayores, 10 cm fueran de carpeta vieja y el resto de carpeta nueva, esto con la intención de definir los juegos de calibración (AMAP o AMGB).

## 2.- Datos agregados

Como datos agregados se maneja la siguiente información: volumen de tránsito, tipo de carretera, tipo de geometría, calidad de compactación, adecuación estructural, calidad de la rodadura, condición superficial y textura superficial; cada uno está definido por parámetros muy generales, como Bueno, Regular o Malo, la concepción de cada parámetro puede variar conforme a las condiciones locales. La definición de los datos que caracterizan el parámetro, se hace en el apartado de Tablas agregadas de tramo.

En la Figura 92 se muestra que las modificaciones realizadas sólo fueron en el parámetro de Geometría, en éste se renombraron algunos descriptores sin modificar sus valores:

- Mayormente recto y en lomerío a sólo **mayormente recto**.
- Con pocas curvas y en lomerío a **lomerío suave**.
- Sinuoso y en lomerío a **lomerío fuerte**.

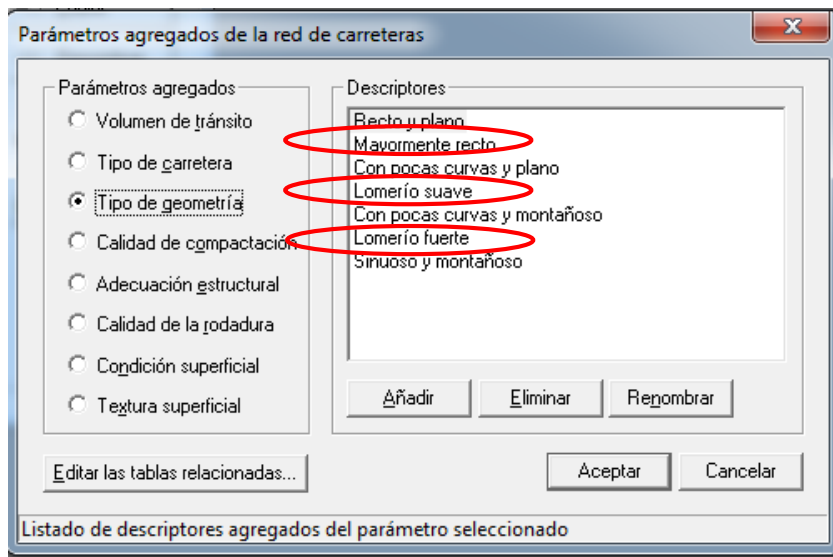


Figura 92. Modificaciones a la sección de tipo de geometría.

A los demás parámetros agregados no se les hizo ninguna modificación y se tomarán tal cual aparecen en el programa.

### 3.- Zonas climáticas

Tomando como base la información en la sección del clima de cada tramo, se eligió el clima y la precipitación del HDM-4 que se asemejaran más a esta. En la Figura 93 se presenta la primer zona climática, a éste se le dio el nombre de clima 1 (Zac.-Car.).

**Zona climática: Clima 1 (Zac.-Car)**

Clima

Nombre: Clima 1 (Zac.-Car)

Clasificación por humedad: Subhúmedo

Índice de humedad: 0

Duración de la estación seca: 6 meses

Precipitación media mensual: 100 mm

Clasificación por temperatura: Subtropical - fresco

Temperatura media: 18 °C

Rango prom. de temperaturas: 13 °C

Días con T > 32°C: 30 días

Índice de congelamiento: 0 °C-día

Porcentaje del tiempo que se conduce en

Carreteras cubiertas de nieve: 0 0<=PCTDS<=100

Carreteras cubiertas de agua: 15 0<=PCTDW<=100

Nombre de la zona climática

Figura 93. Definición de Clima 1.

En la Figura 94 se presenta la segunda zona climática, a la cual se le dio el nombre de clima 2 (Car.-Zam. y Vist. Herm.-Bri.).

**Zona climática: Clima 2 (Car.-Zam. y Vist. Her.-Bri.)**

Clima

Nombre: Clima 2 (Car.-Zam. y Vist. Her.-Bri.)

Clasificación por humedad: Semiárido

Índice de humedad: -40

Duración de la estación seca: 9 meses

Precipitación media mensual: 50 mm

Clasificación por temperatura: Subtropical - fresco

Temperatura media: 18 °C

Rango prom. de temperaturas: 13 °C

Días con T > 32°C: 30 días

Índice de congelamiento: 0 °C-día

Porcentaje del tiempo que se conduce en

Carreteras cubiertas de nieve: 0 0<=PCTDS<=100

Carreteras cubiertas de agua: 15 0<=PCTDW<=100

Nombre de la zona climática

Figura 94. Definición de Clima 2.

En la Figura 95 se presenta la tercera zona climática, a la cual se le dio el nombre de clima 3 (Lib Nte. Zam.).

Clima	
Nombre:	Clima 3 (Lib. Nte. Zam.)
Clasificación por humedad:	Semiárido
Índice de humedad:	-40
Duración de la estación seca:	9 meses
Precipitación media mensual:	50 mm
Clasificación por temperatura:	Subtropical - cálido
Temperatura media:	22 °C
Rango prom. de temperaturas:	17 °C
Días con T > 32°C:	60 días
Índice de congelamiento	0 °C-día
Porcentaje del tiempo que se conduce en	
Carreteras cubiertas de nieve:	0 0<=PCTDS<=100
Carreteras cubiertas de agua:	10 0<=PCTDW<=100
Nombre de la zona climática	

Figura 95. Definición de Clima 3.

Se decidió tomar los valores predeterminados del HDM-4 y no los de la estación climatológica, debido a que los datos meteorológicos de cada estación pudieran no ser representativos en la longitud total del tramo.

Las demás partes que conforman la carpeta de Configuración, se dejaron con los valores predeterminados que maneja el HDM-4, excepto la de tipos de accidentes.

El modelo de tránsito utilizado se muestra en la Figura 96, a éste se le dio el nombre de Modelo de tránsito CPCC.

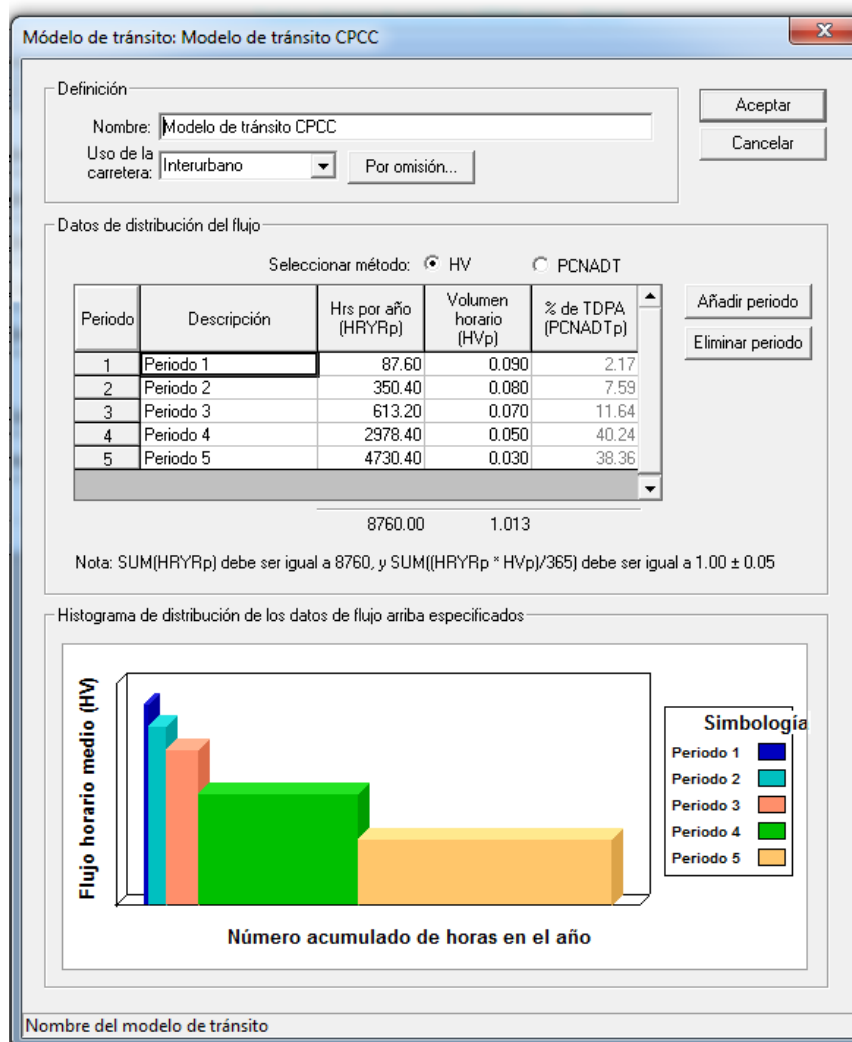


Figura 96. Modelo de tránsito CPCC.

FUENTE: HDM-4 Versión 2.09.02.

El tipo de velocidad/capacidad que se utilizó se muestra en la Figura 97, a éste se le dio el nombre de Velocidad/capacidad CPCC.

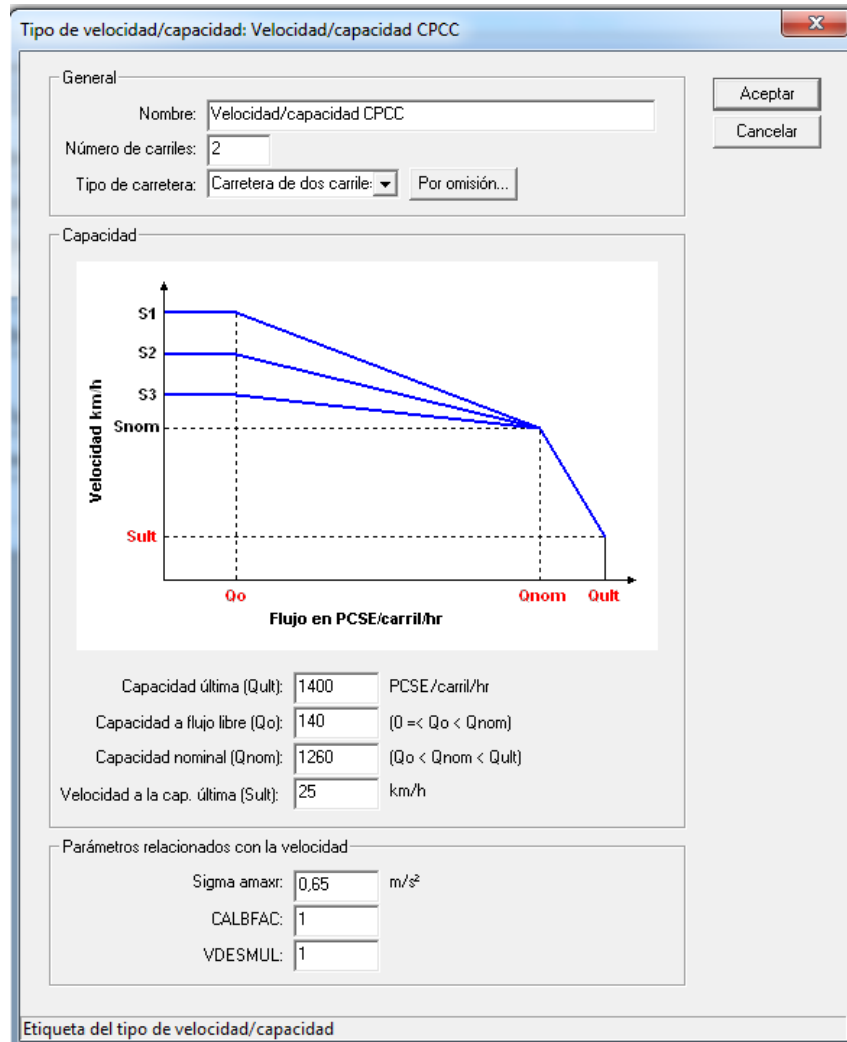


Figura 97. Velocidad/capacidad CPCC.

FUENTE: HDM-4 Versión 2.09.02.

La parte de tipos de accidentes se muestra en la Figura 98, a esta se le dio el nombre de Tipos de accidentes CPCC.

Tipos de accidentes: Tipos de accidentes CPCC

Nombre: Tipos de accidentes CPCC

Tasa de accidentes (número por 100 millones de veh-km)

por tipo

Fatales: 0

Heridos: 0

Sólo daños: 0

todos: Todos los accidentes: 0

Nombre del tipo de accidente

Figura 98. Tipos de accidentes CPCC.

**FUENTE: HDM-4 Versión 2.09.02.**

Se le dio un valor de 0 a los accidentes porque en este trabajo se decidió no tomar en cuenta la influencia que tiene dicho factor.

En la parte de unidad monetaria se define al peso como el tipo de moneda a usar para el análisis (Ver Figura 99).

Descripción	Símbolo	Posición del símbolo
US Dollar	US\$	¤1.1
Pound Sterling	£	¤1.1
Euro	€	1.1 ¤
Rupee	Rs	¤1.1
Peso	P\$	¤ 1.1

Definición de unidades monetarias

Figura 99. Peso como unidad monetaria.

**FUENTE: HDM-4 Versión 2.09.02.**

Ya teniendo definida la parte de Configuración, se definirán las partes de Flota Vehicular y Red de carreteras (Ver Figura 100).

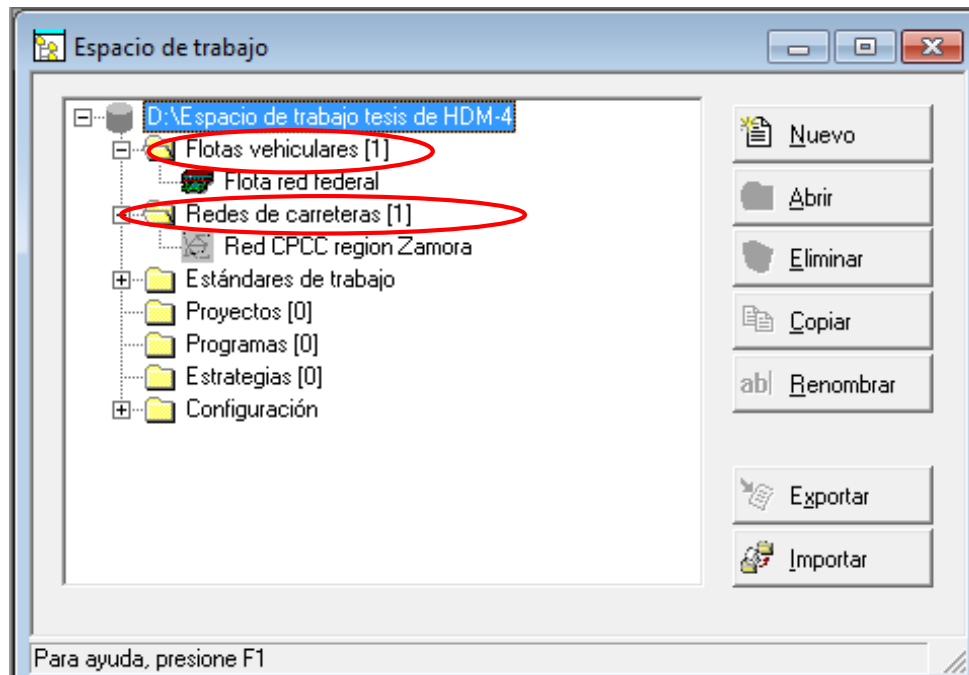


Figura 100. Sección de Flota vehicular y Red de carreteras.

FUENTE: HDM-4 Versión 2.09.02.

### 3.2.3.2. Flota vehicular

La información utilizada para definir la flota vehicular en el HDM-4 está basada en la Publicación Técnica No. 368 del Instituto Mexicano del Transporte; a la vez, el mismo instituto facilitó un archivo de Access con la flota vehicular que se utilizará para este trabajo, esta tiene el nombre de “Flota red federal” y la Unidad monetaria será el “Peso” (Ver Figura 101).

Figura 101. Nombre y unidad monetaria de la flota vehicular.

Ya importado el archivo de Access de “Flota red federal” al HDM-4, en la Figura 102 aparece la conformación de dicha flota con los tipos de vehículos que circulan por los tramos en estudio.

Nombre	Tipo	Última modificación	Tipo de base	Categoría
A	Automóviles	29/04/2016	Automóvil mediano	Motorizado
B3	Autobuses	29/04/2016	Autobús Interurbano	Motorizado
C2	Camiones	29/04/2016	Camión pesado	Motorizado
C3	Camiones	29/04/2016	Camión pesado	Motorizado
T3-S2	Camiones	29/04/2016	Camión articulado	Motorizado
T3-S2-R4	Camiones	29/04/2016	Camión articulado	Motorizado
T3-S3	Camiones	29/04/2016	Camión articulado	Motorizado









Figura 102. Conformación de la Flota red federal.

Para cargar cada tipo de vehículo en HDM-4, es necesario llenar la pestaña de Definición del vehículo, Características Básicas y Costos Económicos Unitarios con la información requerida. Dentro de la pestaña de Características Básicas, los valores de ESALF y Peso en operación se cambiaron por otros calculados con base a la Ley de pesos y dimensiones máximas NOM-012-SCT-2-2014 y a la publicación técnica No. 368 del Instituto Mexicano del transporte. Las tablas que se utilizaron de los documentos anteriores se presentan en el Anexo 3.



En la Tabla 118 se presentan los pesos en operación y los ESALF por cada vehículo.

Tabla 118. Pesos de operación y ejes equivalentes (ESALF) de cada vehículo.

Tipo de vehículo	%	Ejes				Factor de carga equivalente vacíos	Factor de carga equivalente cargados	Peso en operación	ESALF
		No.	Tipo	Vacíos (Ton)	Cargados (Ton)				
A2 	84.70%	1	S	0.7	1	0.000054	0.000225		
		2	S	0.98	1	0.000208	0.000225		
				1.68	2	0.000262	0.00045	1.90	0.000394
				0.504	1.4	0.0000786	0.000315		
B2 	1.00%	1	S	3.5	7	0.033815	0.541044		
		2	SD	7	11	0.541044	3.299219		
				10.5	18	0.574859	3.840263	15.75	2.860642
				3.15	12.6	0.1724577	2.6881841		
B3 	0.00%	1	S	3.5	5.5	0.033815	0.206201		
		2	T	10.5	14.5	0.242455	0.881752		
				14	20	0.27627	1.087953	18.20	0.844448
				4.2	14	0.082881	0.7615671		
C2 	9.10%	1	S	3	5.5	0.018253	0.206201		
		2	SD	2.5	9	0.008802	1.478463		
				5.5	14.5	0.027055	1.684664	11.80	1.187381
				1.65	10.15	0.0081165	1.1792648		
C3 	1.00%	1	S	3.2	5.5	0.023629	0.206201		
		2	T	3.74	14.5	0.003896	0.881752		
				6.94	20	0.027525	1.087953	16.08	0.769825
				2.082	14	0.0082575	0.7615671		
T3-S2 	2.90%	1	S	5.81	5.5	0.256770	0.206201		
		2	T	5.81	14.5	0.022963	0.881752		
		3	T	5.81	14.5	0.022963	0.881752		
				17.43	34.5	0.302696	1.969705	29.38	1.469602
				5.229	24.15	0.0908088	1.3787935		
T3-S3 	0.70%	1	S	5.5	5.5	0.206201	0.206201		
		2	T	5.5	14.5	0.018223	0.881752		
		3	TR	8.44	20	0.022576	0.712993		
				19.44	40	0.247	1.800946	33.83	1.334762
				5.832	28	0.0741	1.2606622		
T3-S2-R4 	0.60%	1	S	5.88	5.5	0.269370	0.206201		
		2	T	5.88	14.5	0.023806	0.881752		
		3	T	5.88	14.5	0.023806	0.881752		
		4	T	5.88	14.5	0.023806	0.881752		
		5	T	5.88	14.5	0.023806	0.881752		
				17.64	43.5	0.364594	3.733209	35.74	2.722625
				5.292	30.45	0.1093782	2.6132463		

Como parte de la definición de la flota vehicular se tienen que editar las series de crecimiento vehicular, estas se construyen con base a las las tasas de crecimiento calculadas en la sección de tránsito de cada tramo. Las series de crecimiento se muestran en la Figura 103.

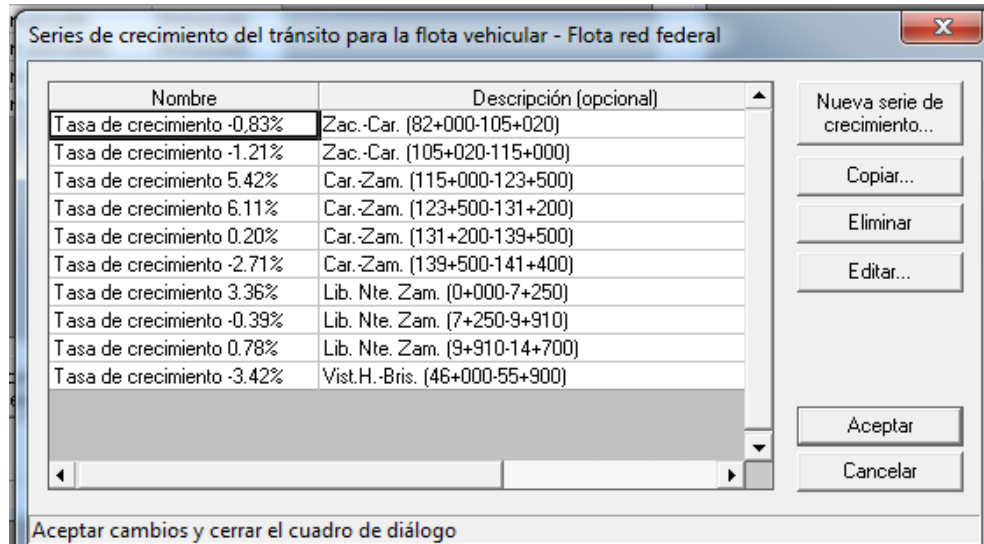


Figura 103. Series de crecimiento vehicular.

### 3.2.3.3. Red de carreteras

Con respecto a la red de carreteras, se necesita asignar una Flota vehicular y una Serie de calibración, las cuales ya las tenemos armadas (Ver Figura 104). El nombre que se le dará a la red de carreteras será Red CPCC región Zamora.



Figura 104. Nombre, flota vehicular y serie de calibración para la red de carreteras.

Para generar cada una de las secciones homogéneas en HDM-4, es necesario llenar la pestaña de Definición, Geometría, Pavimento, Condición, Otros, Tránsito motorizado y Valuación de activos. En la Figura 105 se observa una de las secciones homogéneas cargada.

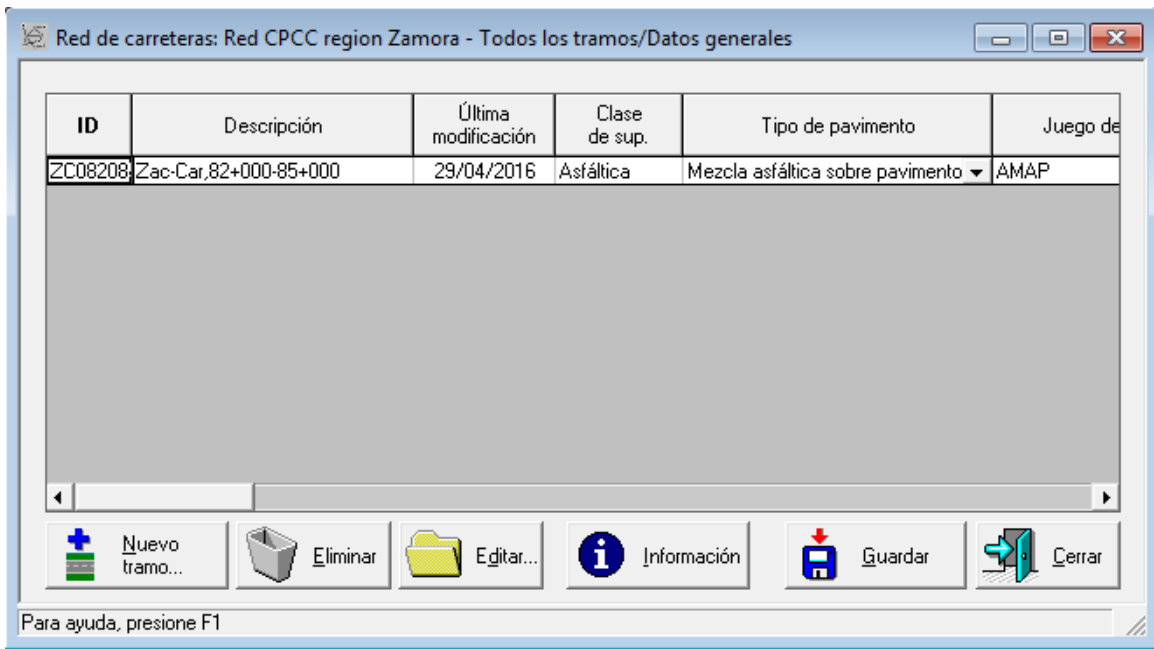


Figura 105. Sección homogénea cargada en la red de carreteras.

Para cargar de una manera más sencilla las secciones homogéneas, se tomó la decisión de exportar la red de carreteras del HDM-4 en formato Access. Al realizar lo anterior, se genera cuatro tablas en el archivo de Access (Ver Figura 106), estas son las siguientes:

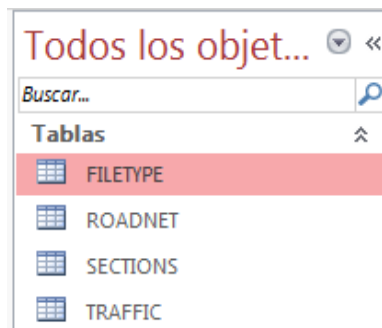


Figura 106. Tablas generadas en Access de la red de carreteras.

FUENTE: Microsoft ACCESS.

## 1.-Filetype

En esta se indica al HDM-4 el tipo de información contenida en la base de datos. Con una única columna llamada Type que contiene un valor SECT\_ID que nunca se modifica (Ver Figura 107)

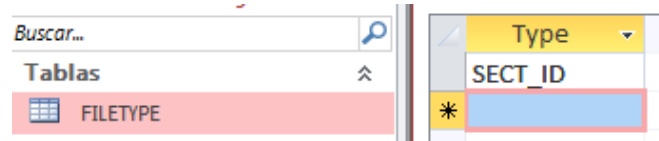


Figura 107. FILETYPE de red de carreteras.

**FUENTE: Microsoft ACCESS.**

## 2.-Roadnet

Contiene información general de la red de carreteras. Esta contiene diez columnas de las cuales sólo se modifican las siguientes (Ver Figura 108):

- 2.1.- NAME (Nombre de la red de carreteras).
- 2.2.- CALIB\_SET (Serie de calibración utilizada).
- 2.3.- VFLEET (Flota vehicular utilizada).
- 2.4.- NOOFMT (Número de vehículos motorizados de la flota).
- 2.5.- NOOFNMT (Número de vehículos no motorizados de la flota).
- 2.6.- CURRENCY (Nombre de la unidad monetaria asociada a la red de carreteras).

FILETYPE	NAME	DESCRIPTIO	CALIB_SET	VFLEET	NOOFMT	NOOFNMT	CURRENCY	TERMROUGI	TERMROUGI	TERMROUGI
ROADNET	Red CPCC regio		Serie CPCC	Flota red fede	7	0	Peso			

Figura 108. ROADNET de red de carreteras.

**FUENTE: Microsoft ACCESS.**

### 3.-Sections

Aquí se almacenan la mayor parte de los datos de la sección homogénea. Las columnas de esta de esta tabla se asemejan a las pestañas de Definición, Geometría, Pavimente, Condición, Otros, Tránsito motorizado y Valuación de activos, mencionadas anteriormente al momento de cargar una sección homogénea (Ver Figura 109).

SECT_ID	SECT_NAME	LINK_ID	LINK_NAME	SPEED_FLOW	TRAF_FLOW	ACC_CLASS	ROAD_CLAS	CLIM_ZONE	SURF_CLASS	LENGTH	
ZC08208501	Zac-Car,82+000	1602901	Zacapu-Carapa	Velocidad/cap	Modelo de trá	Tipos de accidi	Primaria o tror	Clima 1 (Zac.-C		0	3

Figura 109. SECTIONS de red de carreteras.

**FUENTE: Microsoft ACCESS.**

En esta parte existen algunos campos en específico llenados con claves numéricas que tienen cierto significado, estas claves con su respectivo significado se presentan en el Anexo 4.

### 4.-Traffic

Se introduce la configuración vehicular de cada sección homogénea. Las columnas en esta tabla son las siguientes (Ver Figura 110):

- 4.1.- SEC\_ID (Identificador del tramo al que corresponde dicha configuración).
- 4.2.- VEH\_ID (Identificador del vehículo de dicha configuración).
- 4.3.- VEH\_CAT (Categoría de vehículo).
- 4.4.- YEAR\_IDX (Sin uso, debe hacerse 0).
- 4.5.- YEAR (Año que corresponde a la configuración vehicular).
- 4.6.- AADT (TDPA de cada vehículo del año).

FILETYPE	SEC_ID	VEH_ID	VEH_CAT	YEAR_IDX	YEAR	AADT
ROADNET	1	0	0	0	2012	3845
SECTIONS	1	1	0	0	2012	42
TRAFFIC	1	2	0	0	2012	528
	1	3	0	0	2012	99
	1	4	0	0	2012	10
	1	5	0	0	2012	146
	1	6	0	0	2012	42

Figura 110. TRAFFIC de red de carreteras.

FUENTE: Microsoft ACCESS.

Para ingresar la información de una forma aún más sencilla, las tablas de SECTIONS y TRAFFIC se copiarán en una hoja de Excel para ingresar las secciones faltantes.

Una vez completadas las tablas de SECTIONS y TRAFFIC, se pasan al archivo de Access que se había exportado del HDM-4 anteriormente, para después ser importado al HDM-4 como se observa en la Figura 111.

ID	Descripción	Última modificación	Clase de sup.	Tipo de pavimento	Juego de calibración RD	Long. (km)	Ancho de calzada (m)	Flujo de tránsito	Ancho acot. (m)	Tipo vel./cap.	Modelo de tránsito	Tipo de accidente	Zona climática
CZ10911	Car-Zam,109+300-111+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	1.7	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ11111	Car-Zam,111+000-115+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	4.0	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ11511	Car-Zam,115+000-117+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	2.0	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ11711	Car-Zam,117+000-119+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	2.0	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ11912	Car-Zam,119+000-120+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	1.0	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ12012	Car-Zam,120+000-121+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	1.0	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ12112	Car-Zam,121+000-123+500	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	2.5	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ12312	Car-Zam,123+500-125+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	1.5	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ12512	Car-Zam,125+000-128+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	3.0	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ12812	Car-Zam,128+000-129+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	1.0	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ12913	Car-Zam,129+000-130+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	1.0	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ13013	Car-Zam,130+000-131+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	1.0	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ13113	Car-Zam,131+000-133+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	2.0	7.40	Un sentido	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ13313	Car-Zam,133+000-134+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP (Acotamiento)	1.0	7.00	Un sentido	1.50	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ13413	Car-Zam,134+000-136+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP (Acotamiento)	2.0	7.00	Un sentido	1.50	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ13613	Car-Zam,136+000-139+500	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP (Acotamiento)	3.5	7.00	Un sentido	1.50	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
CZ13914	Car-Zam,139+500-141+400	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP (Acotamiento)	1.9	7.00	Un sentido	1.50	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
LNZ20000	LibNteZam,0+000-3+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran	AMGB (Acotamiento)	3.0	7.10	Dos carril	1.70	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 3 (Lib.)
LNZ20030	LibNteZam,3+000-4+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran	AMGB (Acotamiento)	1.0	7.10	Dos carril	1.70	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 3 (Lib.)
LNZ20040	LibNteZam,4+000-7+250	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran	AMGB (Acotamiento)	3.3	7.10	Dos carril	1.70	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 3 (Lib.)
LNZ20070	LibNteZam,7+250-9+910	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran	AMGB (Acotamiento)	2.7	7.10	Dos carril	1.70	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 3 (Lib.)
LNZ20090	LibNteZam,9+910-11+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran	AMGB (Acotamiento)	1.1	7.10	Dos carril	1.70	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 3 (Lib.)
LNZ20110	LibNteZam,11+000-14+700	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran	AMGB (Acotamiento)	3.7	7.10	Dos carril	1.70	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 3 (Lib.)
VHB0460	VistH-Bris,46+000-47+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP (Acotamiento)	1.0	7.00	Dos carril	1.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
VHB0470	VistH-Bris,47+000-49+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP (Acotamiento)	1.0	7.00	Dos carril	1.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
VHB0490	VistH-Bris,49+000-50+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP (Acotamiento)	1.0	7.00	Dos carril	1.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
VHB0500	VistH-Bris,50+000-52+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP (Acotamiento)	1.0	7.00	Dos carril	1.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
VHB0520	VistH-Bris,52+000-54+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP (Acotamiento)	1.0	7.00	Dos carril	1.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
VHB0540	VistH-Bris,54+000-55+900	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP (Acotamiento)	1.0	7.00	Dos carril	1.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 2 (Car.)
ZC08208	Zac-Car,82+000-95+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran	AMGB	3.0	7.60	Dos carril	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 1 (Zac.)
ZC08509	Zac-Car,85+000-93+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran	AMGB	8.0	7.60	Dos carril	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 1 (Zac.)
ZC09309	Zac-Car,93+000-94+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	1.0	7.60	Dos carril	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 1 (Zac.)
ZC09410	Zac-Car,94+000-101+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	7.0	7.60	Dos carril	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 1 (Zac.)
ZC10110	Zac-Car,101+000-104+000	11/05/2016	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre pavimento	AMAP	3.0	7.60	Dos carril	0.00	Velocidad/cv	Modelo de tr.	Tipos de acc.	Clima 1 (Zac.)

Figura 111. Secciones homogéneas cargadas completamente dentro de la red de carreteras.

Una vez ingresado las 37 secciones homogéneas en el HDM-4 dentro de la red de carreteras, se pasa a cargar los estándares de trabajo.

#### **3.2.3.4. Estándares de trabajo**

Para cargar los estándares de trabajo definidos en la sección 3.2.2 se seguirá el mismo proceso que se utilizó para conformar la red de carreteras. Primeramente para el primer análisis se cargan los estándares necesarios en el HDM-4; tratándose de las acciones del estándar de mantenimiento rutinario (Reparación de bordes, reparación de desprendimientos, bacheo y sellado de grietas) se tienen que alimentar las pestañas de General, Intervención, Costos y Efectos.

Hablando de una reconstrucción del pavimento o fresado y reemplazo, se tienen que alimentar las pestanas de General, Diseño, Intervención, Costos, Efectos y Valuación de activos.

Cargados los estándares en HDM-4, se exportan en un archivo de Access, para en seguida, pasarlos en un archivo de Excel para trabajarlo de una manera más cómoda. En la Figura 112, Figura 113 y Figura 114 se muestran las tablas de **MaintStds**, **RespontInt** y **Works** respectivamente; la primera contiene los estándares definidos junto con sus identificadores (MAINTSTDID y MAINT\_NAME) y el número de acciones que conforma cada estándar (NOWRKITEMS), en la segunda se muestran los identificadores de cada estándar (MAINTSTDID) y los valores en los cuales interviene cada acción (GT) y en la tercera se almacenan los valores con los que se alimentan las pestañas de General, Diseño, Intervención, Costos, Efectos y Valuación de activos.

MAINTSTDID	MAINT_NAME	MAINT_COE	SURF_CLASS	NOWRKITEMS
0	Est. proyecto Zacapu-Carapan	EPZC	0	5
1	Est. proyecto Carapan-Zamora	EPCZ	0	5
2	Est. proyecto Libramiento Norte de Zamora	EPLNZ	0	5
3	Est. proyecto Vista Hermosa-Briseñas	EPVHB	0	5
4	Est. de mantenimiento de rutina	MR	0	4
*				

Figura 112. MAINTSTDS de estándar de trabajo.

FUENTE: Microsoft ACCESS.

MAINTSTDID	IMPSTDID	WORK_ID	RESP_ID	CRITERION	COMP_MOE	LT	GT
0	-1	0	0	8	2	0	2.5
0	-1	1	2	4	2	0	0
0	-1	2	0	6	2	1	1
0	-1	3	0	5	2	0	0
0	-1	4	0	7	2	0	0
1	-1	0	0	8	2	0	2.5
1	-1	1	2	4	2	0	0
1	-1	2	0	6	2	1	1
1	-1	3	0	5	2	0	0
1	-1	4	0	7	2	0	0
2	-1	0	0	8	2	0	2.5
2	-1	1	2	4	2	0	0
2	-1	2	0	6	2	1	1
2	-1	3	0	5	2	0	0
2	-1	4	0	7	2	0	0
3	-1	0	0	8	2	0	2.5
3	-1	1	2	4	2	0	0
3	-1	2	0	6	2	1	1
3	-1	3	0	5	2	0	0
3	-1	4	0	7	2	0	0
4	-1	0	2	4	2	0	0
4	-1	1	0	6	2	1	1

Figura 113. RESPONINT de estándar de trabajo.

FUENTE: Microsoft ACCESS.

FILETYPE	MAINTSTDID	WORK_ID	WORK_NAME	WORK_COD	FEAT_TYPE	SURF_CLASS	OP_TYPE	INTER_TYPE	BUDGETHEA	FIN_COST	ECON_CO
Improves	0	0	Rec. Zacapu-Carapan	RZC	0	0	27	1	0	2462730	212
MaintStds	0	1	Sellado de grietas	SG	0	0	0	1	1	21.9	
NewSectionDef	0	2	Bacheo	BC	0	0	1	1	1	267.83	2
NewSectionDetails	0	3	Reparación de desprender	RD	0	0	1	1	1	210.09	18
NewSectionTraffic	1	4	Reparación de bordes	RB	0	0	2	1	1	112.77	9
ResponInt	1	0	Rec. Carapan-Zamora	RCZ	0	0	27	1	0	1071620.13	9238
WorkDefaults	1	1	Sellado de grietas	SG	0	0	0	1	1	21.9	
Works	1	2	Bacheo	BC	0	0	1	1	1	267.83	2
WorksCurrency	1	3	Reparación de desprender	RD	0	0	1	1	1	210.09	18
	1	4	Reparación de bordes	RB	0	0	2	1	1	112.77	9
	2	0	Fres. libramiento norte de	FRLNZ	0	0	18	1	0	197.14	10
	2	1	Sellado de grietas	SG	0	0	0	1	1	21.9	
	2	2	Bacheo	BC	0	0	1	1	1	267.83	2
	2	3	Reparación de desprender	RD	0	0	1	1	1	210.09	18
	2	4	Reparación de bordes	RB	0	0	2	1	1	112.77	9
	3	0	Rec. Vista Hermosa-Brise	RVHB	0	0	27	1	0	3845343	33149
	3	1	Sellado de grietas	SG	0	0	0	1	1	21.9	
	3	2	Bacheo	BC	0	0	1	1	1	267.83	2
	3	3	Reparación de desprender	RD	0	0	1	1	1	210.09	18
	3	4	Reparación de bordes	RB	0	0	2	1	1	112.77	9
	4	0	Sellado de grietas	SG	0	0	0	1	1	21.9	
	4	1	Bacheo	BC	0	0	1	1	1	267.83	2

Figura 114. WORKS de estándar de trabajo.

FUENTE: Microsoft ACCESS.

Ya que se concluya con el primer análisis, los estándares siguientes se almacenarán, tal como se hizo, en el proceso anteriormente descrito para los futuros análisis.

### 3.3. Procesamiento de información

En esta sección se llevarán a cabo todos los análisis necesarios para tener un programa de trabajos con y sin restricciones presupuestales y lograr el cumplimiento de los indicadores de desempeño.

#### 3.3.1. Realización de análisis en el HDM-4

Se tomó la decisión de realizar un primer análisis sencillo para ver cómo se comportaban las alternativas óptimas de los proyectos entregados a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Para esto se eligió hacer un **análisis de estrategias sin restricciones**, esto debido a que se quería utilizar el **método de optimización llamado “maximizar DIRI”** y observar que resultados que se

obtenían. Para llevar a cabo dicho análisis es necesario alimentar tres secciones que contiene esta herramienta, las cuales son:

- 1.- Definir estrategia a detalle
- 2.- Especificar alternativas
- 3.- Generar estrategias

En la primera sección se alimentan las pestañas de General y Tramos del estudio. En la pestaña General se define la descripción del estudio, método de optimización, año de inicio, período de análisis, red de carreteras, flota vehicular y unidades monetarias (Ver Figura 115); y en la pestaña Tramos del estudio se activan los tramos con los que se conformó la red de carreteras y se asignan las series de crecimiento correspondientes a cada tramo (Ver Figura 116).

The screenshot shows the 'General' tab of the software. The title bar reads 'Estrategia: Analisis de estrategia CPCC region Zamora (Maximizar dIRI)'. The interface is divided into a sidebar on the left and a main content area. The sidebar contains several icons and labels: 'Definir estrategia a detalle', 'Especificar alternativas', 'Generar estrategia', 'Optimizar presupuesto', 'Generar informes', 'Guardar', and 'Cerrar'. The main content area has two tabs: 'General' (selected) and 'Tramos del estudio'. Under the 'General' tab, there are several input fields and options:
 

- 'Descripción del estudio': Prueba de análisis de estrategia en tramos del CPCC región Zamora (maximizar dIRI)
- 'Método de optimización': Three radio buttons are present: 'Maximizar VPN', 'Maximizar dIRI' (which is selected), and 'Minimizar costo para IRI objetivo'.
- 'Año de inicio': 2012
- 'Periodo de análisis': 10 años
- 'Red de carreteras': Red CPCC region Zamora (selected in a dropdown menu)
- 'Flota vehicular': Flota red federal
- 'Unidades monetarias' section:
  - Flota: Peso x 1 = unidades de salida
  - Trabajos: Peso x 1 = unidades de salida
  - Rdg: Peso x 1 = unidades de salida
  - Salida: Peso
  - Tasa de actualización: 12 %

 At the bottom of the window, there is a status bar that says 'Guardar el elemento de la ventana activa'.

Figura 115. Pestaña general del análisis.

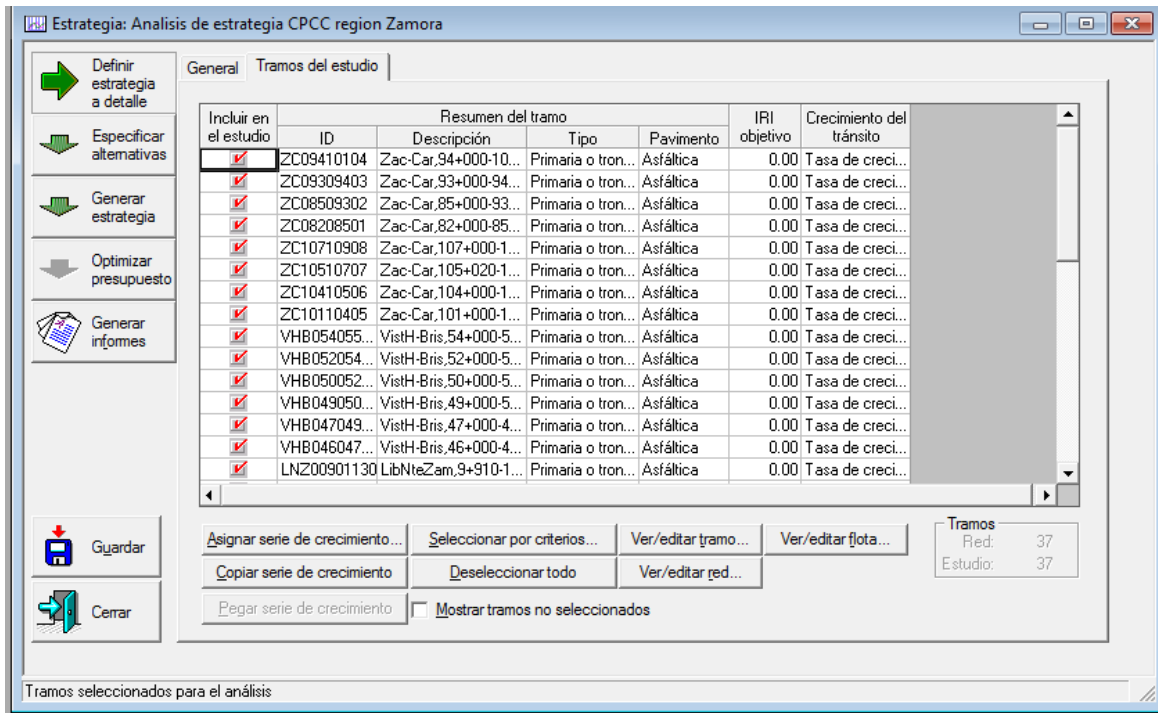


Figura 116. Pestaña de tramos de estudio del análisis.

En la segunda sección se asignan las alternativas armadas en el apartado 3.2.2 para desarrollar el primer análisis. En la Figura 117 se muestran los tramos de la red de carreteras con el número de alternativas que se le asignaron en la parte de Detalles y, a la vez, la estructura organizada de cada tramo con sus respectivos estándares en la parte de Navegación.

Nombre del tramo	ID del tramo	Número de alternativas
Zac-Car.82+000-85+000	ZC08208501	2
Car-Zam.109+300-111+000	CZ10911109	2
Car-Zam.133+000-134+000	CZ13313422	2
LibNteZam.0+000-3+000	LNZ00000326	2
VistH-Bris.46+000-47+000	VHB04604732	2
Car-Zam.111+000-115+000	CZ11111510	2
Car-Zam.115+000-117+000	CZ11511711	2
Car-Zam.117+000-119+000	CZ11711912	2
Car-Zam.119+000-120+000	CZ11912013	2
Car-Zam.120+000-121+000	CZ12012114	2
Car-Zam.121+000-123+500	CZ12112315	2
Car-Zam.123+500-125+000	CZ12312516	2
Car-Zam.125+000-126+000	CZ12512617	2
Car-Zam.126+000-129+000	CZ12612918	2
Car-Zam.129+000-130+000	CZ12913019	2
Car-Zam.130+000-131+000	CZ13013120	2
Car-Zam.131+000-133+000	CZ13113321	2
Car-Zam.134+000-136+000	CZ13413622	2
Car-Zam.136+000-139+500	CZ13613924	2
Car-Zam.139+500-141+400	CZ13914125	2
LibNteZam.11+000-14+700	LNZ01101431	2
LibNteZam.3+000-4+000	LNZ00300427	2
LibNteZam.4+000-7+250	LNZ00400728	2
LibNteZam.7+250-9+910	LNZ00700929	2
LibNteZam.9+910-11+000	LNZ00901130	2
VistH-Bris.47+000-49+000	VHB04704933	2
VistH-Bris.49+000-50+000	VHB04905034	2
VistH-Bris.50+000-52+000	VHB05005235	2
VistH-Bris.52+000-54+000	VHB05205436	2
VistH-Bris.54+000-55+900	VHB05405537	2
Zac-Car.101+000-104+000	ZC10110405	2

Figura 117. Tramos con sus alternativas.

La tercera sección está conformada por dos pestañas; la primera se llama Ejecutar corrida, en la cual, como su nombre lo dice, se realiza la corrida (Ver Figura 118).

**Ejecutar corrida** | Programa sin restricciones | Resumen

Años: 15 Vehículos: 7 Tramos: 37 Alternativas de tramo: 74  
 Ejecutar análisis de ciclo de vida con la siguiente alternativa base:  
 Alternativa base

Estado:  
 Tramo 29: VistH-Bris.52+000-54+000  
 Alternativa de tramo 1: Alternativa base  
 Alternativa de tramo 2: Alternativa de proyecto  
 Tramo 30: VistH-Bris.54+000-55+900  
 Alternativa de tramo 1: Alternativa base  
 Alternativa de tramo 2: Alternativa de proyecto  
 Tramo 31: Zac-Car.101+000-104+000  
 Alternativa de tramo 1: Alternativa base  
 Alternativa de tramo 2: Alternativa de proyecto  
 Tramo 32: Zac-Car.104+000-105+020  
 Alternativa de tramo 1: Alternativa base  
 Alternativa de tramo 2: Alternativa de proyecto  
 Tramo 33: Zac-Car.105+020-107+000  
 Alternativa de tramo 1: Alternativa base  
 Alternativa de tramo 2: Alternativa de proyecto  
 Tramo 34: Zac-Car.107+000-109+300  
 Alternativa de tramo 1: Alternativa base  
 Alternativa de tramo 2: Alternativa de proyecto  
 Tramo 35: Zac-Car.85+000-93+000  
 Alternativa de tramo 1: Alternativa base  
 Alternativa de tramo 2: Alternativa de proyecto  
 Tramo 36: Zac-Car.93+000-94+000  
 Alternativa de tramo 1: Alternativa base  
 Alternativa de tramo 2: Alternativa de proyecto  
 Tramo 37: Zac-Car.94+000-101+000  
 Alternativa de tramo 1: Alternativa base  
 Alternativa de tramo 2: Alternativa de proyecto

Análisis económico...  
 Exportando datos de la corrida para la generación de informes...37628Kbytes  
**Completado**  
 Completado - duración total del análisis = 00.01.00

Progreso:  
 Total: [Progress bar]  
 Alternativa actual: [Progress bar]

Figura 118. Ejecución de corrida.

Terminado primer análisis, primeramente se identifica los trabajos con sus tiempos de actuación y el precio acumulado del programa (Ver Figura 119).

Ejecutar comida Programa sin restricciones

Escenario presupuestal: Programa sin restricciones

Análisis de ciclo de vida - ejecutado el 15-06-2016 (costos en la unidad monetaria de los trabajos (millones de

Tramo de carretera	TDPA del TM	Pavimento	Trabajos	Año	Costo (m#)	Costo recurrente	Costo inv. acum. (m#)	VPN/CAP
Car-Zam,136+000-139+500	17011	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2020	7.82	-	326.25	-0.02
Car-Zam,125+000-128+000	16701	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2020	6.70	-	332.95	-0.05
Car-Zam,139+500-141+400	15613	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2020	4.24	-	337.19	-0.11
Car-Zam,134+000-136+000	17011	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2020	4.47	-	341.66	-0.15
Car-Zam,123+500-125+000	16701	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2020	3.35	-	345.01	-0.30
Car-Zam,121+000-123+500	16563	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2020	5.58	-	350.59	-0.34
Car-Zam,109+300-111+000	7306	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2020	3.80	-	354.39	-0.53
Car-Zam,111+000-115+000	7306	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2020	8.93	-	363.32	-0.53
Car-Zam,115+000-117+000	16563	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2020	4.47	-	367.79	-0.66
Car-Zam,117+000-119+000	16563	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2020	4.47	-	372.26	-0.66
VistH-Bris,49+000-50+000	7702	Asfáltica	Rec. Vista Hermosa	2021	3.85	-	376.11	1.64
VistH-Bris,50+000-52+000	7702	Asfáltica	Rec. Vista Hermosa	2021	3.85	-	379.96	1.60
VistH-Bris,46+000-47+000	7702	Asfáltica	Rec. Vista Hermosa	2021	3.85	-	383.81	0.24
VistH-Bris,47+000-49+000	7702	Asfáltica	Rec. Vista Hermosa	2021	3.85	-	387.66	0.24
VistH-Bris,52+000-54+000	7702	Asfáltica	Rec. Vista Hermosa	2021	3.85	-	391.51	0.04
VistH-Bris,54+000-55+900	7702	Asfáltica	Rec. Vista Hermosa	2021	3.85	-	395.36	-0.18

Asignación manual...  Mostrar trabajos recurrentes

Seleccione un escenario presupuestal de la lista para ver su programa de trabajos.

Figura 119. Trabajos a ejecutar y costo acumulado del programa.

Además de lo anterior, en la sección de Generar informes aparecen una serie de carpetas con todos los informes generados por el HDM-4 que reportan los resultados obtenidos, para este trabajo nos interesa analizar únicamente los informes de irregularidad promedio por tramo y el de resumen de indicadores económicos (Ver Figura 120).

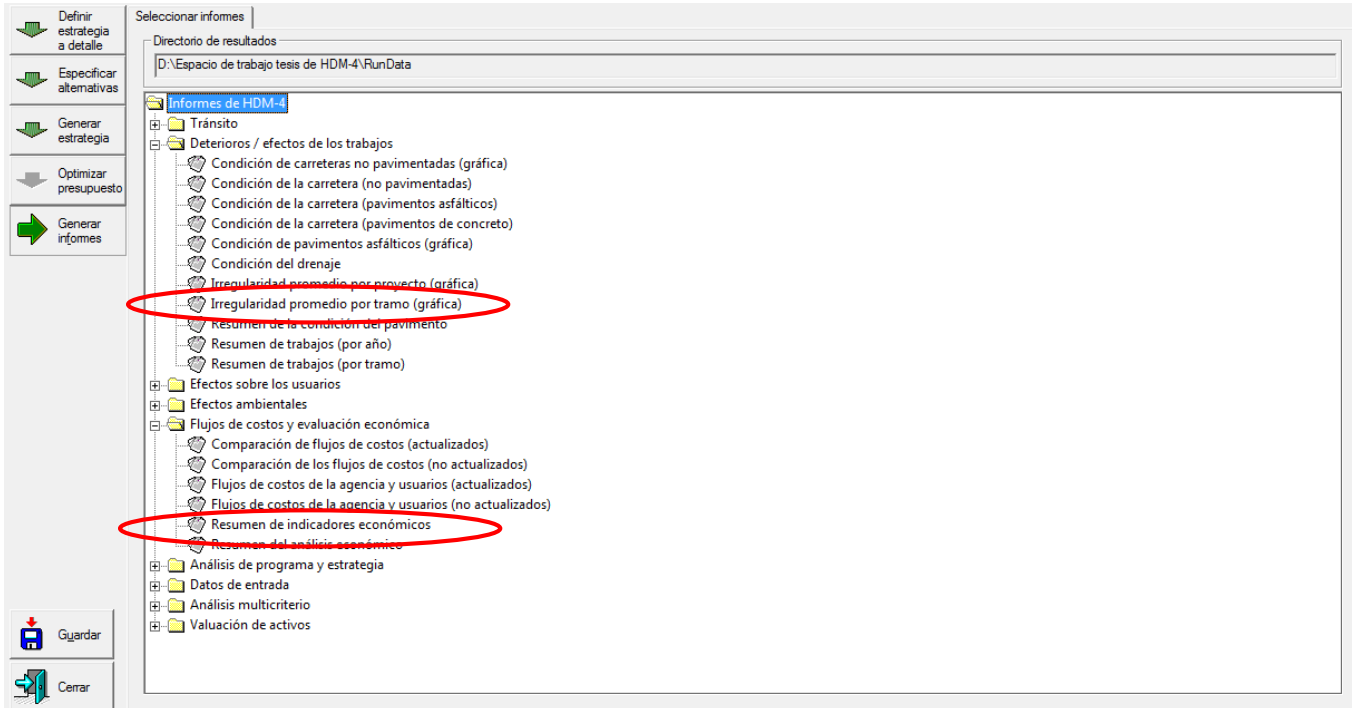


Figura 120. Informes generados por el HDM-4.

En la Tabla 119 el resumen de indicadores económicos y en la Gráfica 17 se muestra el informe de irregularidad por tramo (gráfica).

Tabla 119. Resumen de indicadores económicos.

# HDM - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Resumen de indicadores económicos

Nombre del estudio: **Análisis de estrategia CPCC region Zamora (Maximizar dIRI)**  
 Fecha de ejecución: **15-06-2016**  
 Unidad monetaria: **Peso (millones)**  
 Tasa de actualización: **12.00%**

Tramo: Car-Zam,109+300-111+000

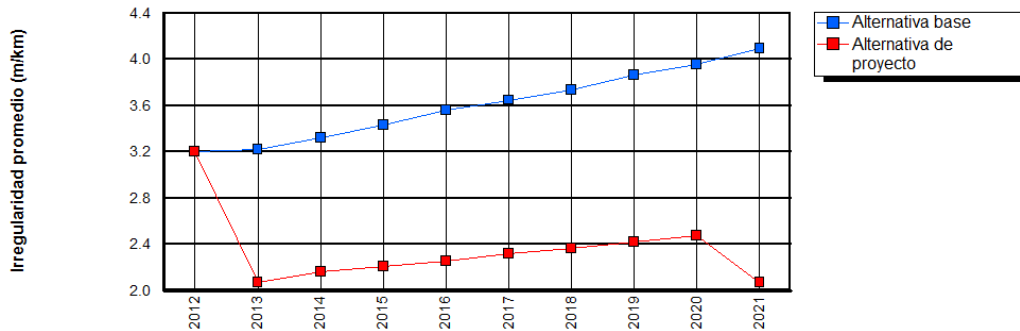
Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

Alternativa	Valor presente de los costos totales de la agencia (RAC)	Valor presente de los costos de inv. de la agencia (CAP)	Incremento en costos de la agencia (C)	Decremento en costos de usuario (B)	Beneficios exógenos netos (E)	Valor presente neto (VPN = B + E - C)	Relación VPN/costo (VPN/RAC)	Relación VPN/costo (VPN/CAP)	Tasa interna de retorno (TIR)
Alternativa base	0.280	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Alternativa de proyecto	4.594	4.594	4.314	1.893	0.000	-2.421	-0.527	-0.527	-71.3 (1)

La cifra entre paréntesis es el número de resultados para la TIR en un rango de -90 a +900

Tramo: Car-Zam,109+300-111+000  
Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

ID tramo: CZ10911109 Tipo de carretera: Primaria o troncal Longitud: 1.70km  
Ascensos y descensos: 15.00m/km Ancho: 7.40m Curvatura: 75.00grados/km



Gráfica 17. Gráfica de irregularidad promedio de cada alternativa.

Completado el primer análisis, se realizará una comparativa entre un análisis de **estrategia sin restricciones con el método de optimización “maximizar VPN”**, y un análisis de programa sin restricciones con el método de optimización “ciclo de vida”; esto con el propósito de demostrar que se puede utilizar la herramienta de análisis de estrategia aunque sea más adecuado utilizar la de programa; para con esto usar diferentes métodos de optimización que ofrece el análisis de estrategia y no sólo evaluar la rentabilidad de las inversiones de cada tramo que es el fin del análisis de programa, lo cual se ha hecho normalmente.

El análisis de estrategias maximizando el VPN se hizo exactamente igual que el primer análisis, lo único que se modificó fue el método de optimización (Ver Figura 121).

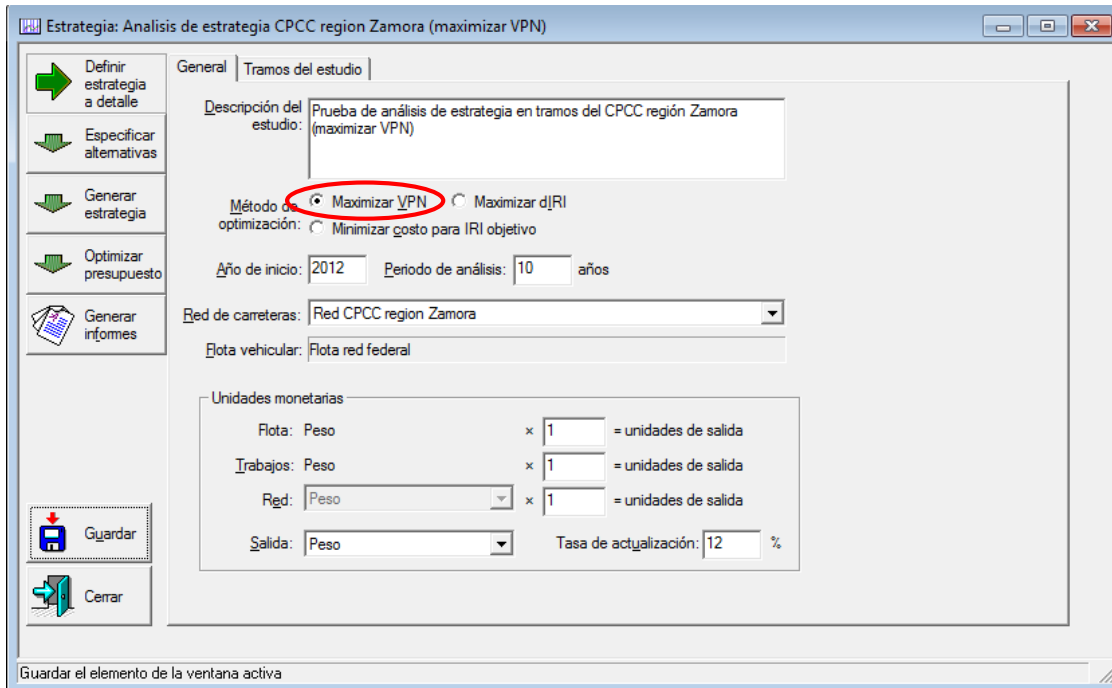


Figura 121. Análisis de estrategia maximizando VPN.

El análisis de programa ciclo de vida se efectúa de la misma manera que el de estrategia, sólo se usa otro método de optimización (Ver Figura 122).

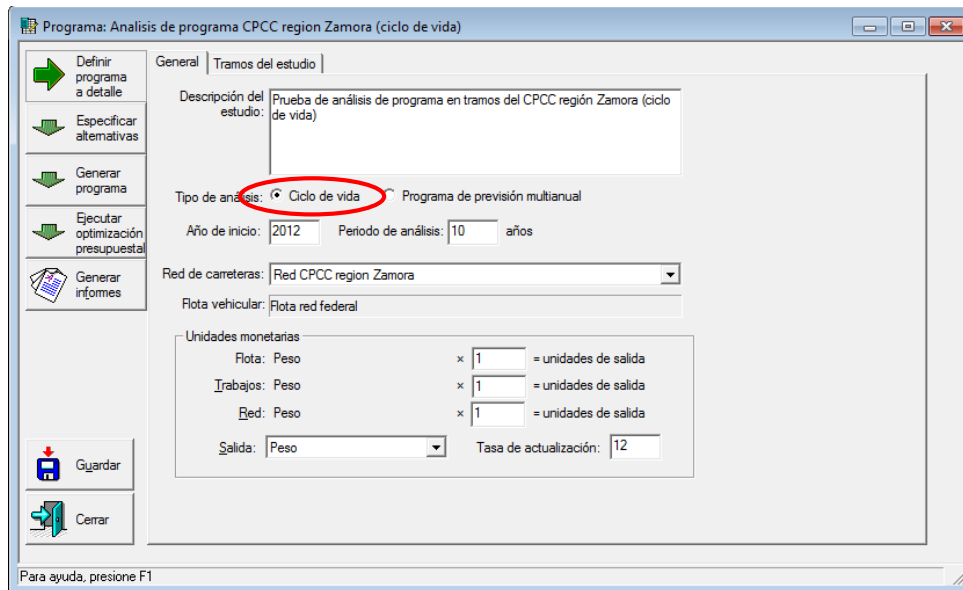


Figura 122. Análisis de programa ciclo de vida.

De la misma manera que en el primer análisis, los resultados que se toman en cuenta para la comparación entre herramientas de análisis son:

\*El programa de trabajos con su tiempo de actuación y su precio acumulado, de cada análisis (Ver Figura 123 y Figura 124).

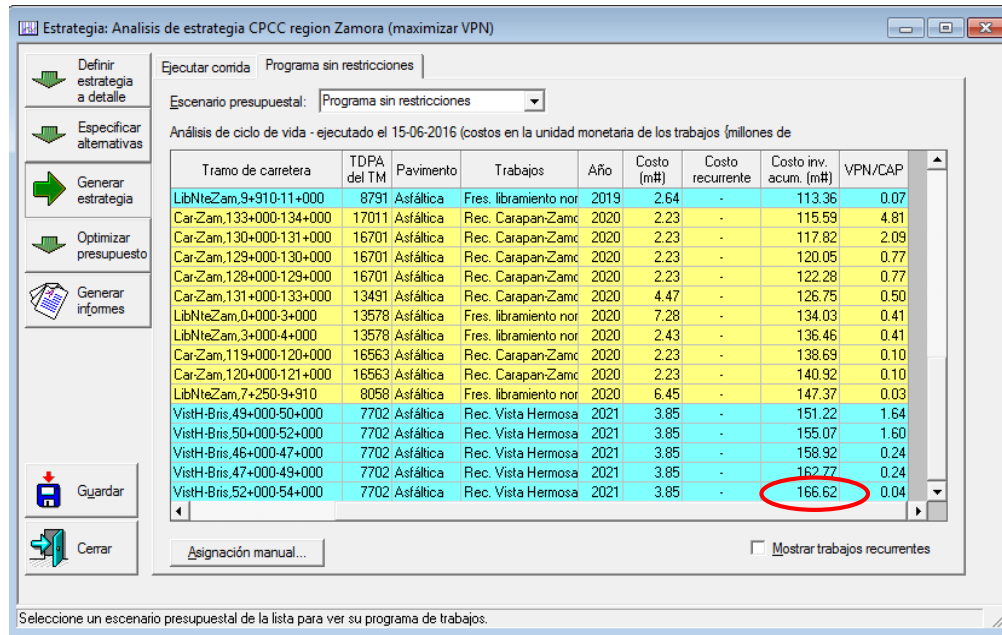


Figura 123. Programa de trabajos con análisis de estrategia.

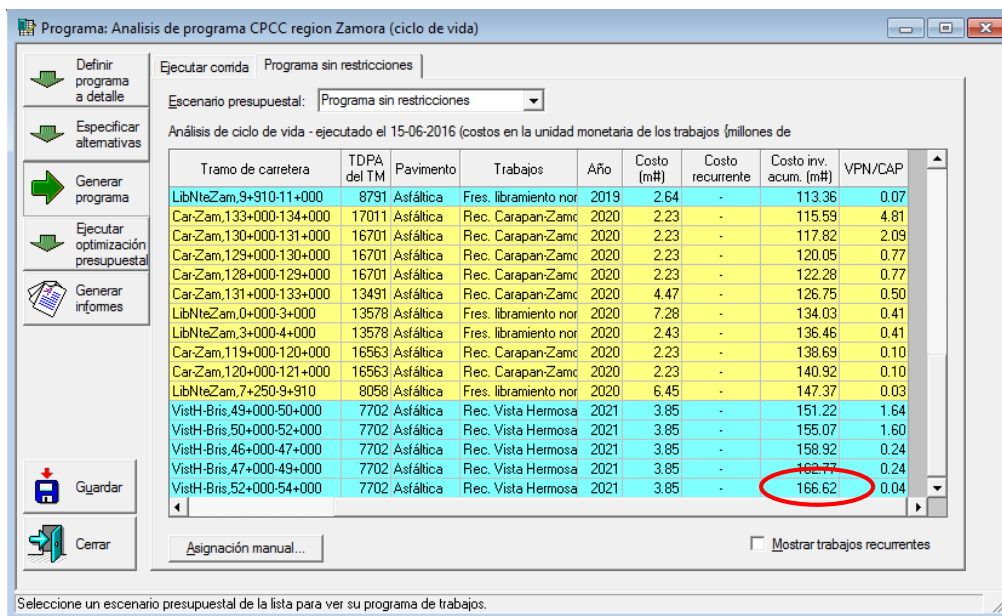


Figura 124. Programa de trabajos con análisis de programa.

\*Los informes de irregularidad promedio por tramo (Ver Gráfica 18 y Gráfica 19) y el de resumen de indicadores económicos de cada análisis (Ver Tabla 120 y Tabla 121).

## HDM - 4 Irregularidad promedio por tramo (gráfica)

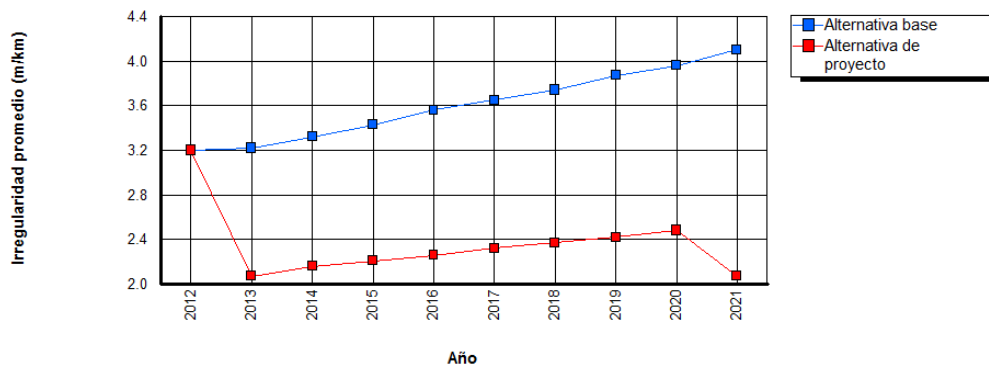
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Nombre del estudio: **Análisis de estrategia CPCC region Zamora (maximizar VPN)**

Fecha de ejecución: **21-06-2016**

**Tramo:** Car-Zam,109+300-111+000  
**Sensibilidad:** No se realizó análisis de sensibilidad

ID tramo: CZ1091109 Tipo de carretera: Primaria o troncal Longitud: 1.70km  
 Ascensos y descensos: 15.00m/km Ancho: 7.40m Curvatura: 75.00grados/km



Gráfica 18. Gráfica de irregularidad promedio con análisis de estrategia.

## HDM - 4 Irregularidad promedio por tramo (gráfica)

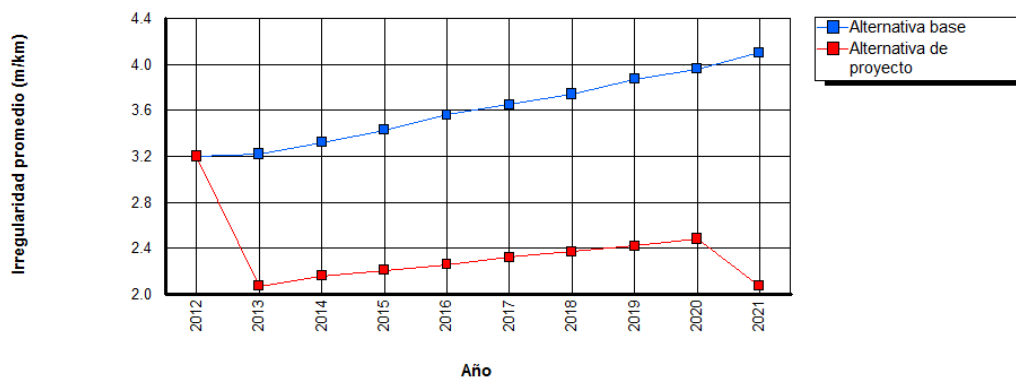
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Nombre del estudio: **Análisis de programa CPCC region Zamora (ciclo de vida)**

Fecha de ejecución: **21-06-2016**

**Tramo:** Car-Zam,109+300-111+000  
**Sensibilidad:** No se realizó análisis de sensibilidad

ID tramo: CZ1091109 Tipo de carretera: Primaria o troncal Longitud: 1.70km  
 Ascensos y descensos: 15.00m/km Ancho: 7.40m Curvatura: 75.00grados/km



Gráfica 19. Gráfica de irregularidad promedio con análisis de programa.

Tabla 120. Resumen de indicadores económicos con análisis de estrategia.

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT &amp; MANAGEMENT

## Resumen de indicadores económicos

Nombre del estudio: **Análisis de estrategia CPCC region Zamora (maximizar VPN)**Fecha de ejecución: **21-06-2016**Unidad monetaria: **Peso (millones)**Tasa de actualización: **12.00%**

Tramo: Car-Zam,109+300-111+000

Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

Alternativa	Valor presente de los costos totales de la agencia (RAC)	Valor presente de los costos de inv. de la agencia (CAP)	Incremento en costos de la agencia (C)	Decremento en costos de usuario (B)	Beneficios exógenos netos (E)	Valor presente neto (VPN = B + E - C)	Relación VPN/costo (VPN/RAC)	Relación VPN/costo (VPN/CAP)	Tasa interna de retorno (TIR)
Alternativa base	0.280	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Alternativa de proyecto	4.594	4.594	4.314	1.893	0.000	-2.421	-0.527	-0.527	-71.3 (f)

La cifra entre paréntesis es el número de resultados para la TIR en un rango de -90 a +900

Tabla 121. Resumen de indicadores económicos con análisis de programa.

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT &amp; MANAGEMENT

## Resumen de indicadores económicos

Nombre del estudio: **Análisis de programa CPCC region Zamora (ciclo de vida)**Fecha de ejecución: **21-06-2016**Unidad monetaria: **Peso (millones)**Tasa de actualización: **12.00%**

Tramo: Car-Zam,109+300-111+000

Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

Alternativa	Valor presente de los costos totales de la agencia (RAC)	Valor presente de los costos de inv. de la agencia (CAP)	Incremento en costos de la agencia (C)	Decremento en costos de usuario (B)	Beneficios exógenos netos (E)	Valor presente neto (VPN = B + E - C)	Relación VPN/costo (VPN/RAC)	Relación VPN/costo (VPN/CAP)	Tasa interna de retorno (TIR)
Alternativa base	0.280	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Alternativa de proyecto	4.594	4.594	4.314	1.893	0.000	-2.421	-0.527	-0.527	-71.3 (f)

La cifra entre paréntesis es el número de resultados para la TIR en un rango de -90 a +900

Analizando los resultados se observó que los reportes de irregularidad, de indicadores económicos y el costo del programa de trabajos de **análisis de estrategia maximizando el VPN y del análisis de programa ciclo de vida**, resultaron ser los mismos. Esto nos da la **posibilidad de aplicar el análisis de estrategia en lugar del análisis de programa**; así se tendrá la posibilidad de evaluar el desempeño de los activos y no sólo la rentabilidad de la inversión.

Entendido lo anterior, tenemos la posibilidad de hacer la evaluación con dos criterios; por lo tanto, se decidió hacer los análisis restantes con las herramientas de **análisis de estrategia maximizando el dIRI**, tomando como criterio para optimizar la mejora de la condición del camino, y de **análisis de estrategia maximizando el VPN**, tomando como criterio para optimizar la rentabilidad de la inversión. Con estas herramientas se harán programas de trabajo bajo restricciones presupuestales; para obtener estas se usará la herramienta de **análisis de estrategia maximizando el dIRI** involucrando sólo la alternativa 1 con diferentes años de actuación (2012, 2013 y 2014) de la acción de mayor influencia para corregir el IRI (Ver Figura 125).

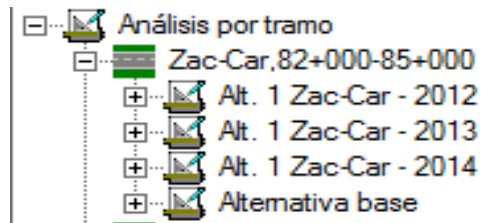


Figura 125. Alternativa 1 con distintos años de actuación.

El número de períodos presupuestales requeridos para las restricciones está en función a la duración de cada etapa del contrato; tres años para la etapa de desarrollo y del cuarto en adelante para la etapa de conservación. Las montos de cada etapa resultaron del programa de trabajos sin restricciones (Ver Figura 127 y Figura 126).

Ejecutar corrida Programa sin restricciones

Ejecutor presupuestal: Programa sin restricciones

Análisis de ciclo de vida - ejecutado el 30-06-2016 (costos en la unidad monetaria de los trabajos (millones de

Tramo de carretera	Tipo de carretera	Longitud	TDPA del TM	Pavimento	Trabajos	Año	Costo (m#)	Costo recurrente	Costo inv. acum. (m#)	VPN/CAP
Car.Zam.129+000-130+000	Primaria o troncal	1.00	10392	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	3.14	-	40.72	1.25
Car.Zam.128+000-129+000	Primaria o troncal	1.00	10392	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	3.14	-	43.86	1.25
LibNteZam.9+910-11+000	Primaria o troncal	1.09	8326	Asfáltica	Fres. libramiento nor	2012	1.91	-	45.77	1.23
LibNteZam.7+250-9+910	Primaria o troncal	2.66	8314	Asfáltica	Fres. libramiento nor	2012	4.66	-	50.43	1.03
Car.Zam.131+000-133+000	Primaria o troncal	2.00	13277	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	6.27	-	56.70	0.98
YistH-Bris.46+000-47+000	Primaria o troncal	1.00	10534	Asfáltica	Rec. Vista Hermosa	2012	3.69	-	60.39	0.86
YistH-Bris.47+000-49+000	Primaria o troncal	1.00	10534	Asfáltica	Rec. Vista Hermosa	2012	3.69	-	64.08	0.86
Zac-Car.107+000-109+300	Primaria o troncal	2.30	8054	Asfáltica	Rec. Zacapu-Carap	2012	5.68	-	69.76	0.68
YistH-Bris.52+000-54+000	Primaria o troncal	1.00	10534	Asfáltica	Rec. Vista Hermosa	2012	3.69	-	73.45	0.58
Zac-Car.101+000-104+000	Primaria o troncal	3.00	4672	Asfáltica	Rec. Zacapu-Carap	2012	7.41	-	80.86	0.49
Zac-Car.104+000-105+020	Primaria o troncal	1.02	4672	Asfáltica	Rec. Zacapu-Carap	2012	2.52	-	83.38	0.44
Car.Zam.119+000-120+000	Primaria o troncal	1.00	10858	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	3.14	-	86.52	0.36
Car.Zam.120+000-121+000	Primaria o troncal	1.00	10858	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	3.14	-	89.66	0.36
Car.Zam.125+000-128+000	Primaria o troncal	3.00	10392	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	9.41	-	99.07	0.35
YistH-Bris.54+000-55+900	Primaria o troncal	1.00	10534	Asfáltica	Rec. Vista Hermosa	2012	3.69	-	102.76	0.25
Car.Zam.136+000-139+500	Primaria o troncal	3.50	16741	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	10.38	-	113.14	0.24
Car.Zam.134+000-136+000	Primaria o troncal	2.00	16741	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	5.93	-	119.07	0.17
Car.Zam.139+500-141+400	Primaria o troncal	1.90	19452	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	5.64	-	124.71	0.08
Car.Zam.123+500-125+000	Primaria o troncal	1.50	10392	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	4.70	-	129.41	-0.06
Zac-Car.94+000-101+000	Primaria o troncal	7.00	4672	Asfáltica	Rec. Zacapu-Carap	2012	17.28	-	146.69	-0.11
Car.Zam.121+000-123+500	Primaria o troncal	2.50	10858	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	7.84	-	154.53	-0.12
Zac-Car.82+000-85+000	Primaria o troncal	3.00	4672	Asfáltica	Rec. Zacapu-Carap	2012	7.41	-	161.94	-0.45
Car.Zam.109+300-111+000	Primaria o troncal	1.70	8054	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	5.33	-	167.27	-0.46
Car.Zam.111+000-115+000	Primaria o troncal	4.00	8054	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	12.54	-	179.81	-0.46
Car.Zam.115+000-117+000	Primaria o troncal	2.00	10858	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	6.27	-	186.08	-0.48
Car.Zam.117+000-119+000	Primaria o troncal	2.00	10858	Asfáltica	Rec. Carapan-Zamc	2012	6.27	-	192.35	-0.48
Zac-Car.93+000-94+000	Primaria o troncal	1.00	4672	Asfáltica	Rec. Zacapu-Carap	2012	2.47	-	194.82	-0.60
Zac-Car.85+000-93+000	Primaria o troncal	8.00	4672	Asfáltica	Rec. Zacapu-Carap	2012	19.75	-	214.57	-0.61
Car.Zam.133+000-134+000	Primaria o troncal	1.00	16943	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.86	-	215.43	7.87

Guardar

Cerrar

Asignación manual...

Figura 127. Monto requerido para la etapa de desarrollo.

Ejecutar corrida Programa sin restricciones

Ejecutor presupuestal: Programa sin restricciones

Análisis de ciclo de vida - ejecutado el 30-06-2016 (costos en la unidad monetaria de los trabajos (millones de

Tramo de carretera	Tipo de carretera	Longitud	TDPA del TM	Pavimento	Trabajos	Año	Costo (m#)	Costo recurrente	Costo inv. acum. (m#)	VPN/CAP
Car.Zam.129+000-130+000	Primaria o troncal	1.00	14833	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.91	-	230.43	1.25
Car.Zam.128+000-129+000	Primaria o troncal	1.00	14833	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.91	-	231.34	1.25
LibNteZam.9+910-11+000	Primaria o troncal	1.09	8723	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.96	-	232.30	1.23
LibNteZam.7+250-9+910	Primaria o troncal	2.66	8121	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	2.33	-	234.63	1.03
Car.Zam.131+000-133+000	Primaria o troncal	2.00	13437	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	1.83	-	236.46	0.98
YistH-Bris.46+000-47+000	Primaria o troncal	1.00	8549	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.86	-	237.32	0.86
YistH-Bris.47+000-49+000	Primaria o troncal	1.00	8549	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.86	-	238.18	0.86
Zac-Car.107+000-109+300	Primaria o troncal	2.30	7487	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	2.16	-	240.34	0.68
YistH-Bris.52+000-54+000	Primaria o troncal	1.00	8549	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.86	-	241.20	0.58
Zac-Car.101+000-104+000	Primaria o troncal	3.00	4444	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	2.82	-	244.02	0.49
Zac-Car.104+000-105+020	Primaria o troncal	1.02	4444	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.96	-	244.98	0.44
Car.Zam.119+000-120+000	Primaria o troncal	1.00	14903	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.91	-	245.89	0.36
Car.Zam.120+000-121+000	Primaria o troncal	1.00	14903	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.91	-	246.80	0.36
Car.Zam.125+000-128+000	Primaria o troncal	3.00	14833	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	2.74	-	249.54	0.35
YistH-Bris.54+000-55+900	Primaria o troncal	1.00	8549	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.86	-	250.40	0.25
Car.Zam.136+000-139+500	Primaria o troncal	3.50	16943	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	3.03	-	253.43	0.24
Car.Zam.134+000-136+000	Primaria o troncal	2.00	16943	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	1.73	-	255.16	0.17
Car.Zam.139+500-141+400	Primaria o troncal	1.90	16495	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	1.64	-	256.80	0.08
Car.Zam.123+500-125+000	Primaria o troncal	1.50	14833	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	1.37	-	258.17	-0.06
Zac-Car.94+000-101+000	Primaria o troncal	7.00	4444	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	6.57	-	264.74	-0.11
Car.Zam.121+000-123+500	Primaria o troncal	2.50	14903	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	2.28	-	267.02	-0.12
Zac-Car.82+000-85+000	Primaria o troncal	3.00	4444	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	2.82	-	269.84	-0.45
Car.Zam.109+300-111+000	Primaria o troncal	1.70	7487	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	1.55	-	271.39	-0.46
Car.Zam.111+000-115+000	Primaria o troncal	4.00	7487	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	3.66	-	275.05	-0.46
Car.Zam.115+000-117+000	Primaria o troncal	2.00	14903	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	1.83	-	276.88	-0.48
Car.Zam.117+000-119+000	Primaria o troncal	2.00	14903	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	1.83	-	278.71	-0.48
Zac-Car.93+000-94+000	Primaria o troncal	1.00	4444	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	0.94	-	279.65	-0.60
Zac-Car.85+000-93+000	Primaria o troncal	8.00	4444	Asfáltica	Fresado y reemplaz	2018	7.51	-	287.16	-0.61

Guardar

Cerrar

Asignación manual...

Figura 126. Monto requerido para la etapa de conservación.

El monto para la etapa de desarrollo fue de 214.57 millones de pesos, este monto se divide entre tres y resulta la cantidad de 71.52333333 millones de pesos para cada período, y el monto para la etapa de conservación resulta de la diferencia entre el monto acumulado del programa de trabajos al final del período de análisis, el cual es de 287.16 millones de pesos, y el monto acumulado de la etapa de desarrollo; el resultado es de 72.59 millones de pesos (Ver Figura 128).

Año inicial	Año final	Presupuesto de inversión
1	1	71.523331
2	2	71.523331
3	3	71.523331
4	13	72.589996

El presupuesto de inversión se expresa en millones de Peso  $\Sigma$  287.16

Figura 128. Restricciones presupuestales CPCC.

Después de ejecutar la optimización, se revizó el reporte de **Alternativas de tramo óptimas (presupuesto con restricciones)** y se encontró que un tramo tiene asignada la alternativa base (Ver Figura 129), lo cual es hacer conservación rutinaria. Si se ejecuta esta alternativa la tasa de deterioro no se dispare drásticamente, pero el valor de IRI no se corrige; por lo tanto, es necesario modificar las restricciones presupuestales para que esto se modifique.

Escenario presupuestal:		Restricciones presupuestales CPCC							
Tramo	Tipo de carretera	Longitud (km)	TDPA inicial	Clase de superficie	Descripción de la alternativa	Irregularidad promedio IRI	Costos financieros de inv. de la agencia (Actualizados)	Costos financieros recurr. de la agencia (Actualizados)	Valor presente neto
Car-Zam,109+300-111+000	Primaria o troncal	1.700	8,054	Asfáltica	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2.39	4.14	0.00	-0.74
Car-Zam,111+000-115+000	Primaria o troncal	4.000	8,054	Asfáltica	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2.39	9.74	0.00	-1.76
Car-Zam,115+000-117+000	Primaria o troncal	2.000	10,858	Asfáltica	Alternativa base	3.22	0.00	0.48	0.00

Figura 129. Asignación de 1 alternativa base bajo restricciones presupuestales CPCC.

En lugar de poner 71.52333333 se cambiará a 72 millones de pesos y de 72.59 a 74 millones de pesos (Ver Figura 130).

Figura 130. Restricciones presupuestales modificadas.

Realizando de nuevo la corrida con las restricciones presupuestales modificadas, en la Figura 131 se muestra que el tramo que tenía alternativa base, ahora ya tiene una alternativa diferente, con la cual el IRI se corregirá.

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Alternativas de tramo óptimas (presupuesto con restricciones)

Nombre del estudio: **Análisis de estrategia CPCC region Zamora (Maximizar DIRI)**  
 Fecha de ejecución: **30-06-2016**  
 Unidad monetaria: **Peso (millones)**

Escenario presupuestal: Restricciones presupuestales CPCC

Tramo	Tipo de carretera	Longitud (km)	TDPA inicial	Clase de superficie	Descripción de la alternativa	Irregularidad promedio IRI	Costos financieros de inv. de la agencia (Actualizados)	Costos financieros recurr. de la agencia (Actualizados)	Valor presente neto
Car-Zam,109+300-111+000	Primaria o troncal	1.700	8,054	Asfáltica	Alt. 1 Car-Zam - 2014	2.41	5.04	0.04	-1.84
Car-Zam,111+000-115+000	Primaria o troncal	4.000	8,054	Asfáltica	Alt. 1 Car-Zam - 2014	2.41	11.85	0.09	-4.33
Car-Zam,115+000-117+000	Primaria o troncal	2.000	10,858	Asfáltica	Alt. 1 Car-Zam - 2014	2.29	5.93	0.04	-2.00

Figura 131. Sin asignación de alternativa base bajo restricciones presupuestales modificadas.

Habiendo conseguido los resultados deseados, se realizará ahora una corrida con la herramienta de **análisis de estrategia maximizando el VPN** y las restricciones presupuestales que se utilizaron en el análisis anterior. Observando la Figura 132 se puede apreciar que hay una serie de tramos que tienen asignada la alternativa base, y eso, como antes se mencionó, no es idóneo.

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Alternativas de tramo óptimas (presupuesto con restricciones)

Nombre del estudio: **Análisis de estrategia CPCC region Zamora (Maximizar VPN)**  
 Fecha de ejecución: **01-07-2016**  
 Unidad monetaria: **Peso (millones)**

Escenario presupuestal: Restricciones presupuestales CPCC

Tramo	Tipo de carretera	Longitud (km)	TDPA inicial	Clase de superficie	Descripción de la alternativa	Irregularidad promedio IRI	Costos financieros de inv. de la agencia (Actualizados)	Costos financieros recurr. de la agencia (Actualizados)	Valor presente neto
Car-Zam,109+300-111+000	Primaria o troncal	1.700	8,054	Asfáltica	Alternativa base	3.77	0.00	0.39	0.00
Car-Zam,111+000-115+000	Primaria o troncal	4.000	8,054	Asfáltica	Alternativa base	3.77	0.00	0.92	0.00
Car-Zam,115+000-117+000	Primaria o troncal	2.000	10,858	Asfáltica	Alternativa base	3.22	0.00	0.46	0.00
Car-Zam,117+000-119+000	Primaria o troncal	2.000	10,858	Asfáltica	Alternativa base	3.22	0.00	0.46	0.00
Zac-Car,82+000-85+000	Primaria o troncal	3.000	4,673	Asfáltica	Alternativa base	3.69	0.00	2.31	0.00
Zac-Car,85+000-93+000	Primaria o troncal	8.000	4,673	Asfáltica	Alternativa base	3.74	0.00	2.03	0.00
Zac-Car,93+000-94+000	Primaria o troncal	1.000	4,673	Asfáltica	Alternativa base	3.59	0.00	0.45	0.00
Zac-Car,94+000-101+000	Primaria o troncal	7.000	4,673	Asfáltica	Alternativa base	4.95	0.00	3.12	0.00

Figura 132. Asignación de 8 alternativas base bajo restricciones presupuestales modificadas.

Para corregir lo anterior, es necesario aumentar aún más el monto de las restricciones presupuestales; esta cuestión resulta algo complicada, ya que la adquisición de recursos económicos es uno de los grandes problemas que se presenta; por lo tanto, se tomó la decisión de usar la herramienta de **análisis de estrategia maximizando el dIRI** para cumplir con los estándares de desempeño estipulados.

La optimización de la mejora del IRI a través del análisis de estrategias con el fin de cumplir con los estándares de desempeño, es una opción que se ha venido explorando desde hace tiempo en el Grupo de Gestión de Infraestructura del IMT. Dado que la parte de la tesis relacionada con la aplicación del HDM-4 se llevó a cabo en el seno de este grupo, se aprovechó para verificar la aplicabilidad de esta opción dentro del análisis. Puesto que los resultados obtenidos han sido satisfactorios; en lo sucesivo, el procedimiento de análisis se refinará y documentará a través del proyecto **“APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DEL HDM-4 A LA OPTIMIZACIÓN DE PROGRAMAS DE OBRA BASADOS EN ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO”**. Este trabajo se está desarrollando por el Grupo de Gestión de Infraestructura del IMT y un servidor, con el fin de diseñar una propuesta metodológica para el análisis con la aplicación de la herramienta de análisis de estrategias del HDM-4 en la preparación y optimización de programas de obra basados en estándares de desempeño. El mismo servirá de apoyo para los procesos relacionados con la implementación de proyectos de construcción y conservación de carreteras de la red federal formulados bajo esquemas de asociaciones público-privadas (APP), de los cuales se habló en el apartado 2.6.

En resumen, se prevé obtener los siguientes beneficios:

1. Mejorar el esquema actual de aplicación del HDM-4 al análisis de proyectos carreteros con participación público-privada basados en estándares de desempeño.

2. Apoyar las iniciativas del gobierno federal y de otros grupos de interés para ampliar la cobertura de la red carretera nacional, mejorar su desempeño, y garantizar la sustentabilidad económica y social de su gestión en el mediano y largo plazos.

Conocido lo anterior, se realizará el análisis final y la generación del programa de conservación adecuado involucrando las tres alternativas con sus respectivos años de actuación y la alternativa base (Ver Figura 133).

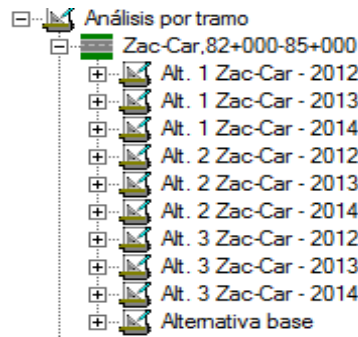
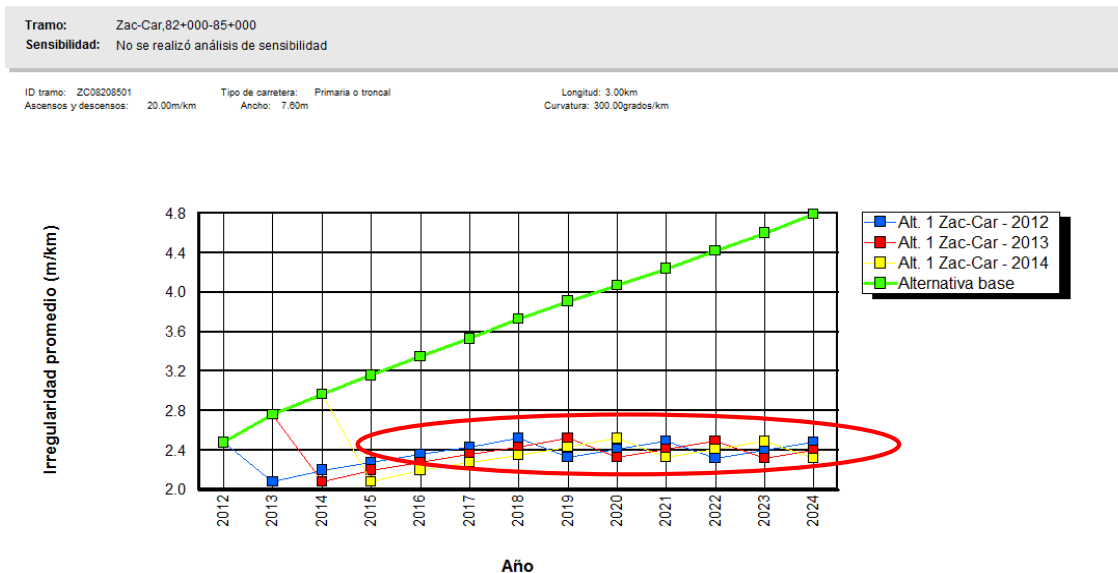


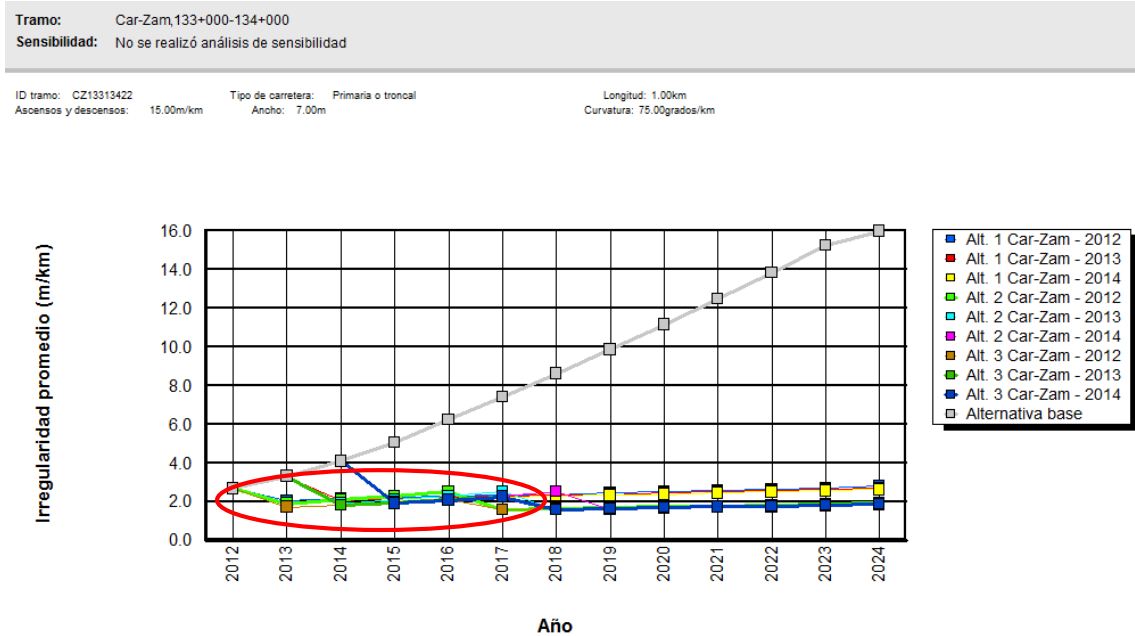
Figura 133. Alternativas completas para análisis final.

Se llevo a cabo el análisis y se obtuvieron situaciones en diversos tramos; primeramente la condición de no revazar el valor de 2.5 de IRI se cumple, pero la condición de la vida remanente no. En la Gráfica 20 se muestra que se aplican acciones después del años de culminación del contrato.



Gráfica 20. Aplicación de trabajos después del tiempo acordado

Así mismo, en otros tramos no se notaba la diferencia entre hacer una reconstrucción, un fresado y reemplazo o una sobrecarpeta, en la Gráfica 21 se observa esta condición



Gráfica 21. Falta de diferencia entre efectos de acciones de conservación.

Para darle solución la primera situación, fue necesario crear un estándar de mantenimiento periódico (Est. de mantenimiento periódico FR5) con actuación en el año 2018, y asignarlo en las alternativas donde se requiera. Las nuevas alternativas quedaron plasmadas en la Tabla 122, Tabla 123, Tabla 124 y Tabla 125.

Tabla 122. Alternativas de conservación Zacapu-Carapan modificadas.

Tramo Zacapu-Carapan				
Alternativas	Estándares	Acciones	Intervención	Efectivo desde año
Alternativa Base	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)	Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0$ m <sup>2</sup> /Km	2012
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0$ %	
		Bacheo	Baches $\geq 1$ no./Km	
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0$ % ó Agrietamiento térmico $\geq 0$ no./Km	
Alt. 1 Zac-Car 2012	Est. 1 Zacapu-Carapan (E1ZC)	Reconstrucción; FR=8 cm, BA=10 cm y CA=5cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5$ IRI y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)	Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	2018 $\leq$ Año $\leq 2018$	2018
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 1 Zac-Car 2013 y 2014	Est. 1 Zacapu-Carapan (E1ZC)			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012
Alt. 2 Zac-Car 2012	Est. 2 Zacapu-Carapan (E2ZC)	Fresado de 5cm y reemplazo 10 cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5$ IRI y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)	Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	2018 $\leq$ Año $\leq 2018$	2018
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 2 Zac-Car 2013 y 2014	Est. 2 Zacapu-Carapan (E2ZC)			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)			2018
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012
Alt. 3 Zac-Car 2012	Est. 3 Zacapu-Carapan (E3ZC)	Sobrecarpeta de mezcla densa de 10 cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5$ IRI y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)	Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	2018 $\leq$ Año $\leq 2018$	2018
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 3 Zac-Car 2013 y 2014	Est. 3 Zacapu-Carapan (E3ZC)			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)			2018
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012

Tabla 123. Alternativas de conservación Carapan-Zamora modificadas.

Tramo Carapan-Zamora				
Alternativas	Estándares	Acciones	Intervención	Efectivo desde año
Alternativa Base	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)	Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0$ m <sup>2</sup> /Km	2012
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0$ %	
		Bacheo	Baches $\geq 1$ no./Km	
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0$ % ó Agrietamiento térmico $\geq 0$ no./Km	
Alt. 1 Car-Zam 2012	Est. 1 Carapan-Zamora (E1CZ)	Reconstrucción; FR= 20 cm, BA=15 cm y CA=5 cm	Irregularidad $\geq 2.5$ IRI y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 1 Car-Zam 2013 y 2014	Est. 1 Carapan-Zamora (E1CZ)			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012
Alt. 2 Car-Zam 2012	Est. 2 Carapan-Zamora (E2CZ)	Fresado de 10 cm y reemplazo 10 cm	Irregularidad $\geq 2.5$ IRI y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)	Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	2018 $\leq$ Año $\leq 2018$	2018
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 2 Car-Zam 2013 y 2014	Est. 2 Carapan-Zamora (E2CZ)			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)			2018
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012
Alt. 3 Car-Zam 2012	Est. 3 Carapan-Zamora (E3CZ)	Sobrecarpeta de mezcla densa de 7 cm	Irregularidad $\geq 2.5$ IRI y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)	Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	2018 $\leq$ Año $\leq 2018$	2018
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 3 Car-Zam 2013 y 2014	Est. 3 Carapan-Zamora 2012			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)			2018
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012

Tabla 124. Alternativas de conservación Libramiento Norte de Zamora modificadas.

Tramo Libramiento Norte de Zamora				
Alternativas	Estándares	Acciones	Criterios	Efectivo desde año
Alternativa Base	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)	Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$	2012
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$	
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$	
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$	
Alt. 1 Lib. Nte. Zam. 2012	Est. 1 Libramiento Norte de Zamora (E1LNZ)	Fresado de 10 cm y reemplazo 10 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)	Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	2018 $\leq$ Año $\leq 2018$	2018
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 1 Lib. Nte. Zam. 2013 y 2014	Est. 1 Libramiento Norte de Zamora (E1LNZ)			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)			2018
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012
Alt. 2 Lib. Nte. Zam. 2012	Est. 2 Libramiento Norte de Zamora (E2LNZ)	Reconstrucción; FR= 10 cm, BA=10 cm y CA=10 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 2 Lib. Nte. Zam. 2013 y 2014	Est. 2 Libramiento Norte de Zamora (E2LNZ)			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012
Alt. 3 Lib. Nte. Zam. 2012	Est. 3 Libramiento Norte de Zamora (E3LNZ)	Sobrecarpeta de mezcla densa de 10 cm	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)	Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	2018 $\leq$ Año $\leq 2018$	2018
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 3 Lib. Nte. Zam. 2013 y 2014	Est. 3 Libramiento Norte de Zamora (E3LNZ)			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)			2018
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012

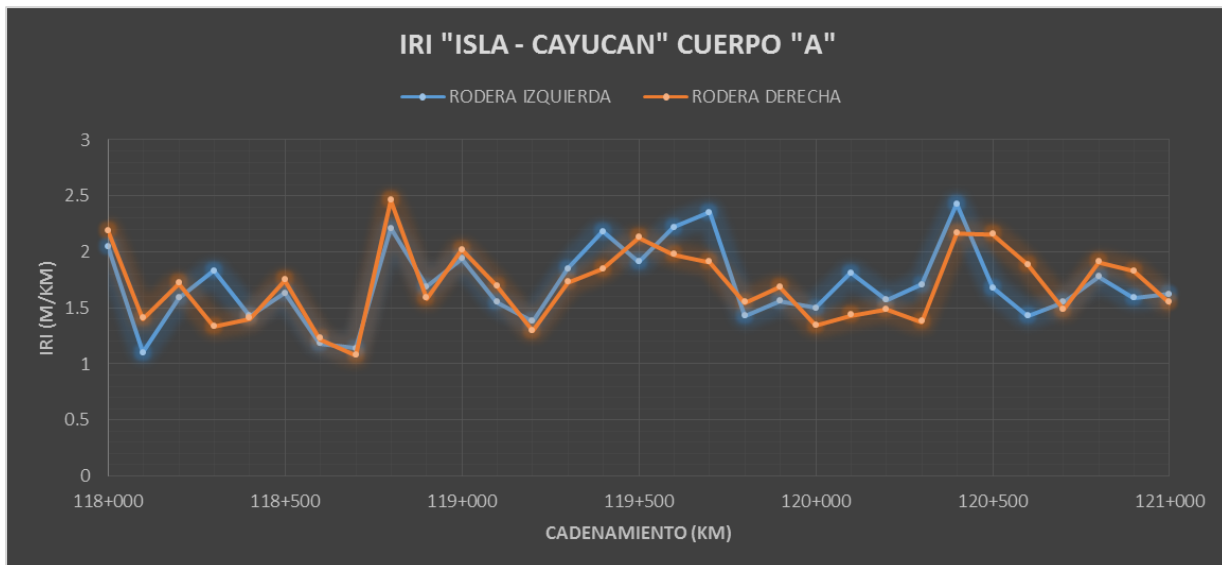
Tabla 125. Alternativas de conservación Vista Hermosa-Briseñas modificadas.

Tramo Vista Hermosa-Briseñas				
Alternativas	Estándares	Acciones	Criterios	Efectivo desde año
Alternativa Base	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)	Reparación de bordes	Rotura de borde $\geq 0 \text{ m}^2/\text{Km}$	2012
		Reparación de desprendimientos	Desprendimientos $\geq 0 \%$	
		Bacheo	Baches $\geq 1 \text{ no./Km}$	
		Sellado de grietas	Agrietamiento estructural total $\geq 0 \%$ ó Agrietamiento térmico $\geq 0 \text{ no./Km}$	
Alt. 1 Vist. H. - Bris. 2012	Est. 1 Vista Hermosa - Briseñas (E1VHB)	Reconstrucción; FR= 15 cm, BA=10 cm y CA=12 cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 1 Vist. H. - Bris. 2013 y 2014	Est. 1 Vista Hermosa - Briseñas (E1VHB)			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012
Alt. 2 Vist. H. - Bris. 2012	Est. 2 Vista Hermosa - Briseñas (E2VHB)	Fresado de 5 cm y reemplazo 5 cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)	Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	2018 $\leq$ Año $\leq 2018$	2018
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 2 Vist. H. - Bris. 2013 y 2014	Est. 2 Vista Hermosa - Briseñas (E2VHB)			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)			2018
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012
Alt. 3 Vist. H. - Bris. 2012	Est. 3 Vista Hermosa - Briseñas (E3VHB)	Sobrecarpeta de mezcla densa de 5 cm con polímero	Irregularidad $\geq 2.5 \text{ IRI}$ y Año $\leq 2014$	2012
		Mantenimiento rutinario		
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)	Fresado de 5cm y reemplazo 5 cm	2018 $\leq$ Año $\leq 2018$	2018
		Mantenimiento rutinario		
Alt. 3 Vist. H. - Bris. 2013 y 2014	Est. 3 Vista Hermosa - Briseñas (E3VHB)			2013 y 2014 respectivamente
	Est. de mantenimiento de periódico FR5 (MF18)			2018
	Est. de mantenimiento de rutinario (MR)			2012

Para la solución de la segunda situación, se tomó la decisión de manipular los efectos de las acciones de conservación de la siguiente manera:

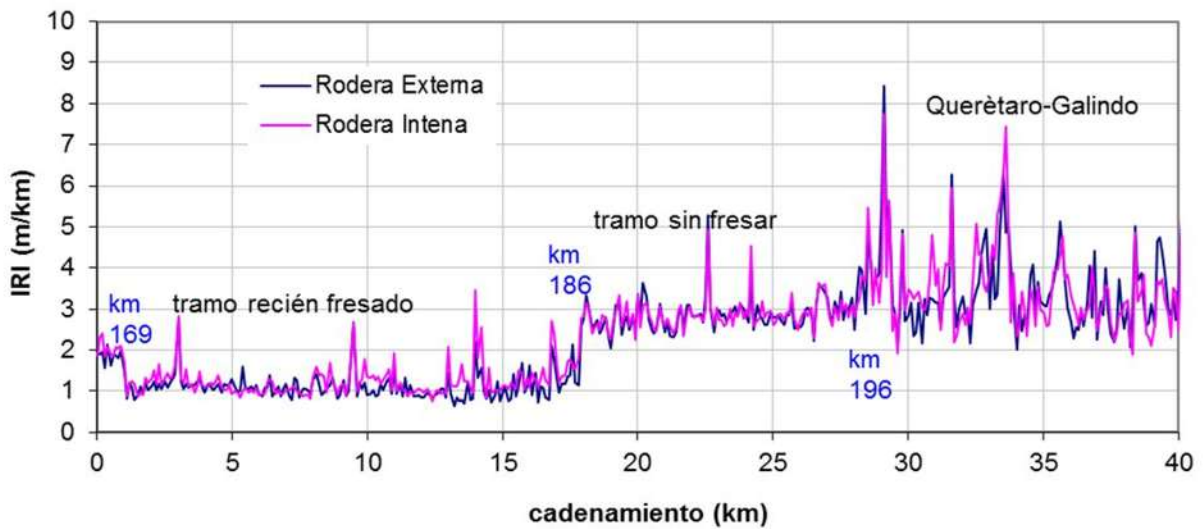
1. La reconstrucción después de su actuación reducirá el IRI a un valor de 1.5 m/Km.
2. El fresado y reemplazo después de su actuación reducirá el IRI a un valor de 1.8 m/Km.
3. La sobrecarpeta después de su actuación reducirá el IRI a un valor de 2 m/Km.

La valores de IRI mencionados fueron resultado de una propuesta personal; para justificar el porqué de estos valores, se solicitó información de mediciones de IRI después de haber hecho una reconstrucción del tramo de la carretera Isla-Acayucan y un fresado del tramo de la carretera México-Querétaro al Ing. Alfonso Perez Salazar, las cuales se presentan en la Gráfica 22 y Gráfica 23.



Gráfica 22. Ejemplo de niveles de IRI en reconstrucción.

**FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte**



Gráfica 23. Ejemplo de niveles de IRI en fresado y reemplazo.

FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte

Analizando las gráficas anteriores se observa que después de la reconstrucción o un fresado, el valor de IRI se puede bajar hasta 1; por lo tanto, los valores propuestos no están fuera de la realidad, pero si es importante mencionar que para obtener estos valores de IRI, es necesario llevar un control de calidad muy estricto.

Después de realizar el análisis con las nuevas alternativas, todavía fue necesario ajustar determinadas alternativas para que el programa de trabajos fuera más apegado requerimiento del nivel de IRI solicitado.

#### **1.-Tramo Zacapu-Carapan del Km 105+020 al Km 107+000.**

\*El año de actuación del estándar de mantenimiento periódico FR5, de la Alt. 3 Zac-Car 2012, será en el 2017.

#### **2.-Tramo Carapan-Zamora del Km 109+300 al Km 111+000.**

\*En la Alt. 2 Car-Zam 2013 y 2014 no se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico FR5.

**3.-Tramo Carapan-Zamora del Km 111+000 al Km 115+000.**

\*En la Alt. 2 Car-Zam 2013 y 2014 no se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico FR5.

**4.-Tramo Carapan-Zamora del Km 119+000 al Km 120+000.**

\*En la Alt. 2 Car-Zam 2014 no se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico FR5.

**5.-Tramo Carapan-Zamora del Km 120+000 al Km 121+000.**

\*En la Alt. 2 Car-Zam 2014 no se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico FR5.

**6.-Tramo Carapan-Zamora del Km 121+000 al Km 123+500.**

\*En la Alt. 2 Car-Zam 2014 no se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico FR5.

**7.-Tramo Carapan-Zamora del Km 130+000 al Km 131+000.**

\*En la Alt. 2 Car-Zam 2012, 2013 y 2014 se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico Rec 5, con año de actuación 2016, 2017 y 2018 respectivamente. Del mismo tramo, en la Alt. 3 Car-Zam 2012, 2013 y 2014 se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico Rec 5, con año de actuación 2017, 2018 y 2018 respectivamente.

**8.-Tramo Carapan-Zamora del Km 131+000 al Km 133+000.**

\*En la Alt. 2 Car-Zam 2012, 2013 y 2014 se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico Rec 5, con año de actuación 2016, 2017 y 2018 respectivamente. Del mismo tramo, en la Alt. 3 Car-Zam 2012, 2013 y 2014 se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico Rec 5, con año de actuación 2017, 2018 y 2018 respectivamente.

**9.-Tramo Carapan-Zamora del Km 133+000 al Km 134+000.**

\*En la Alt. 2 Car-Zam 2012, 2013 y 2014 se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico Rec 5, con año de actuación 2016, 2017 y 2018 respectivamente. Del mismo tramo, en la Alt. 3 Car-Zam 2012, 2013 y 2014 se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico Rec 5, con año de actuación 2016, 2017 y 2017 respectivamente.

**10.-Tramo Libramiento Norte de Zamora del Km 0+000 al Km 3+000.**

\*En la Alt. 1 LibNteZam 2014 no se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico FR5.

**11.-Tramo Libramiento Norte de Zamora del Km 3+000 al Km 4+000.**

\*En la Alt. 1 LibNteZam 2014 no se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico FR5.

**12.-Tramo Vista Hermosa-Briseñas del Km 54+000 al Km 55+900.**

\*En la Alt. 2 VistH-Bris 2014 no se requiere aplicar el estándar de mantenimiento periódico FR5.

Nota: El estándar de mantenimiento periódico Rec 5 contiene las mismas acciones de conservación que las que contiene el estándar 1 Carapan-Zamora.

## 4. Obtención de resultados

Se llevó a cabo la corrida final optimizando con y sin restricciones presupuestales. Terminada de los informes de **Condición de la carretera (pavimentos asfálticos)**, **Irregularidad promedio por tramo (gráfica)**, **Resumen de indicadores económicos**, **Alternativas de tramo óptimas (presupuesto con restricciones)** y **Programa de trabajo optimizado por tramo**, se obtuvieron los siguientes resultados:

### 4.1. Diferencias entre programa sin y con restricciones presupuestales

En la Tabla 126 se muestra el programa de trabajos sin restricciones y en la Tabla 127 se muestra el programa de trabajos con restricciones.

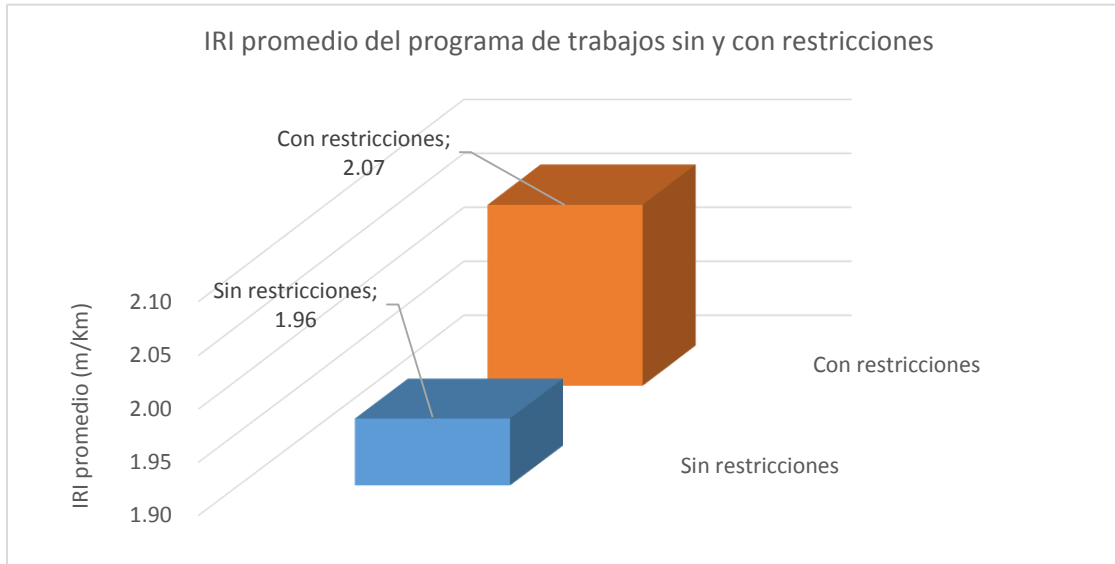
Tabla 126. Programa de trabajos final sin restricciones.

Programa de trabajos sin restricciones presupuestales								
Tramo	Longitud (Km)	Descripción de la alternativa	Año	Irregularidad promedio IRI	Costos financieros de inv. de la agencia (Actualizados)	Costos financieros recurr. de la agencia (Actualizados)	Valor presente neto (VPN)	Tasa interna de retorno (TIR)
Car-Zam,109+300-111+000	1.700	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.94	5.33	0.03	-1.58	5.20
Car-Zam,111+000-115+000	4.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.94	12.54	0.07	-3.71	5.20
Car-Zam,115+000-117+000	2.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.92	6.27	0.04	-1.82	6.40
Car-Zam,117+000-119+000	2.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.92	6.27	0.04	-1.82	6.40
Car-Zam,119+000-120+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.97	3.14	0.02	1.69	20.60
Car-Zam,120+000-121+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	2.00	3.14	0.02	1.67	20.60
Car-Zam,121+000-123+500	2.500	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.97	7.84	0.06	0.50	13.10
Car-Zam,123+500-125+000	1.500	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.98	4.70	0.04	0.59	14.10
Car-Zam,125+000-128+000	3.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.98	9.41	0.07	4.99	19.50
Car-Zam,128+000-129+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	2.03	3.14	0.02	4.45	31.00
Car-Zam,129+000-130+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	2.03	3.14	0.02	4.45	31.00
Car-Zam,130+000-131+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	2.03	3.14	0.02	10.94	45.10
Car-Zam,131+000-133+000	2.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.91	6.27	0.04	7.22	26.20
Car-Zam,133+000-134+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.92	2.97	0.02	23.66	61.00
Car-Zam,134+000-136+000	2.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.91	5.93	0.04	2.16	17.70
Car-Zam,136+000-139+500	3.500	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.95	10.38	0.06	4.49	19.60
Car-Zam,139+500-141+400	1.900	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.94	5.64	0.03	1.52	20.10
LibNteZam,0+000-3+000	3.000	Alt. 2 LibNteZam - 2012	2012	1.91	8.92	0.06	9.46	29.50
LibNteZam,11+000-14+700	3.700	Alt. 2 LibNteZam - 2012	2012	2.09	11.01	0.07	33.04	64.30
LibNteZam,3+000-4+000	1.000	Alt. 2 LibNteZam - 2012	2012	1.91	2.97	0.02	3.15	29.50
LibNteZam,4+000-7+250	3.250	Alt. 2 LibNteZam - 2012	2012	1.91	9.67	0.06	12.87	32.20
LibNteZam,7+250-9+910	2.660	Alt. 2 LibNteZam - 2012	2012	1.91	7.91	0.05	3.79	21.10
LibNteZam,9+910-11+000	1.090	Alt. 2 LibNteZam - 2012	2012	1.91	3.24	0.02	1.98	22.90
VistH-Bris,46+000-47+000	1.000	Alt. 1 VistH-Bris - 2012	2012	1.99	3.69	0.02	3.61	32.80
VistH-Bris,47+000-49+000	2.000	Alt. 1 VistH-Bris - 2012	2012	1.99	7.38	0.04	7.22	32.80
VistH-Bris,49+000-50+000	1.000	Alt. 1 VistH-Bris - 2012	2012	2.21	3.69	0.02	11.19	69.80
VistH-Bris,50+000-52+000	2.000	Alt. 1 VistH-Bris - 2012	2012	2.21	7.38	0.04	21.94	69.40
VistH-Bris,52+000-54+000	2.000	Alt. 1 VistH-Bris - 2012	2012	1.97	7.38	0.04	5.24	27.10
VistH-Bris,54+000-55+900	1.900	Alt. 1 VistH-Bris - 2012	2012	1.97	7.01	0.03	2.77	20.60
Zac-Car,101+000-104+000	3.000	Alt. 1 Zac-Car - 2012	2012	2.01	8.83	0.00	3.93	22.30
Zac-Car,104+000-105+020	1.020	Alt. 1 Zac-Car - 2012	2012	1.99	3.00	0.00	1.21	21.60
Zac-Car,105+020-107+000	1.980	Alt. 1 Zac-Car - 2012	2012	1.99	5.83	0.00	9.80	41.40
Zac-Car,107+000-109+300	2.300	Alt. 1 Zac-Car - 2012	2012	1.98	6.77	0.00	4.19	26.50
Zac-Car,82+000-85+000	3.000	Alt. 1 Zac-Car - 2012	2012	1.93	8.83	0.00	-3.27	-2.10
Zac-Car,85+000-93+000	8.000	Alt. 1 Zac-Car - 2012	2012	1.93	23.56	0.00	-11.95	-3.80
Zac-Car,93+000-94+000	1.000	Alt. 1 Zac-Car - 2012	2012	1.92	2.94	0.00	-1.46	-2.40
Zac-Car,94+000-101+000	7.000	Alt. 1 Zac-Car - 2012	2012	1.92	20.61	0.00	-1.49	10.30
<b>Todos los tramos</b>	<b>84.000</b>			<b>1.96</b>	<b>\$ 259.86</b>	<b>\$ 1.09</b>	<b>\$ 176.58</b>	

Tabla 127. Programa de trabajos final con restricciones.

Programa de trabajos con restricciones presupuestales								
Tramo	Longitud (Km)	Descripción de la alternativa	Año	Irregularidad promedio IRI	Costos financieros de inv. de la agencia (Actualizados)	Costos financieros recurr. de la agencia (Actualizados)	Valor presente neto (VPN)	Tasa interna de retorno (TIR)
Car-Zam,128+000-129+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	2.03	3.14	0.02	4.45	31
Car-Zam,129+000-130+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	2.03	3.14	0.02	4.45	31
Car-Zam,130+000-131+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	2.03	3.14	0.02	10.94	45.1
Car-Zam,131+000-133+000	2.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.91	6.27	0.04	7.22	26.2
Car-Zam,133+000-134+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.92	2.97	0.02	23.66	61
Car-Zam,134+000-136+000	2.000	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.91	5.93	0.04	2.16	17.7
Car-Zam,136+000-139+500	3.500	Alt. 1 Car-Zam - 2012	2012	1.95	10.38	0.06	4.49	19.6
LibNteZam,11+000-14+700	3.700	Alt. 2 LibNteZam - 2012	2012	2.09	11.01	0.07	33.04	64.3
LibNteZam,4+000-7+250	3.250	Alt. 2 LibNteZam - 2012	2012	1.91	9.67	0.06	12.87	32.2
LibNteZam,7+250-9+910	2.660	Alt. 2 LibNteZam - 2012	2012	1.91	7.91	0.05	3.79	21.1
LibNteZam,9+910-11+000	1.090	Alt. 2 LibNteZam - 2012	2012	1.91	3.24	0.02	1.98	22.9
VistH-Bris,46+000-47+000	1.000	Alt. 2 VistH-Bris - 2012	2012	2.12	1.45	0.00	5.47	127.2
VistH-Bris,47+000-49+000	2.000	Alt. 2 VistH-Bris - 2012	2012	2.12	2.90	0.00	10.94	127.1
VistH-Bris,49+000-50+000	1.000	Alt. 2 VistH-Bris - 2012	2012	2.34	1.45	0.00	13.05	279.6
VistH-Bris,50+000-52+000	2.000	Alt. 2 VistH-Bris - 2012	2012	2.33	2.90	0.00	25.67	278.9
VistH-Bris,52+000-54+000	2.000	Alt. 2 VistH-Bris - 2012	2012	2.08	2.90	0.00	8.97	102
VistH-Bris,54+000-55+900	1.900	Alt. 2 VistH-Bris - 2012	2012	2.09	2.75	0.00	6.31	77.6
Car-Zam,119+000-120+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2013	2013	2.06	2.80	0.03	1.75	22.9
Car-Zam,121+000-123+500	2.500	Alt. 1 Car-Zam - 2013	2013	2.03	7.00	0.08	0.99	14.6
Zac-Car,101+000-104+000	3.000	Alt. 1 Zac-Car - 2013	2013	2.21	6.61	1.36	4.10	23.2
Zac-Car,104+000-105+020	1.020	Alt. 1 Zac-Car - 2013	2013	2.18	2.25	0.56	1.21	21.8
Zac-Car,105+020-107+000	1.980	Alt. 1 Zac-Car - 2013	2013	2.18	4.36	1.15	9.52	41.7
Zac-Car,107+000-109+300	2.300	Alt. 1 Zac-Car - 2013	2013	2.16	5.07	1.33	4.02	26
Zac-Car,82+000-85+000	3.000	Alt. 1 Zac-Car - 2013	2013	2.04	6.61	2.23	-3.35	-1.2
Zac-Car,85+000-93+000	8.000	Alt. 1 Zac-Car - 2013	2013	2.04	17.64	1.77	-8.57	-0.4
Zac-Car,94+000-101+000	7.000	Alt. 1 Zac-Car - 2013	2013	2.04	15.43	2.74	0.40	12.5
Car-Zam,109+300-111+000	1.700	Alt. 1 Car-Zam - 2014	2014	2.12	4.25	0.04	-1.03	5.4
Car-Zam,111+000-115+000	4.000	Alt. 1 Car-Zam - 2014	2014	2.12	10.00	0.09	-2.44	5.4
Car-Zam,115+000-117+000	2.000	Alt. 1 Car-Zam - 2014	2014	2.02	5.00	0.04	-0.90	8
Car-Zam,117+000-119+000	2.000	Alt. 1 Car-Zam - 2014	2014	2.02	5.00	0.04	-0.90	8
Car-Zam,120+000-121+000	1.000	Alt. 1 Car-Zam - 2014	2014	2.19	2.50	0.02	1.76	25.5
Car-Zam,123+500-125+000	1.500	Alt. 1 Car-Zam - 2014	2014	2.11	3.75	0.03	1.12	17.9
Car-Zam,125+000-128+000	3.000	Alt. 1 Car-Zam - 2014	2014	2.13	7.50	0.07	5.90	25.2
Car-Zam,139+500-141+400	1.900	Alt. 1 Car-Zam - 2014	2014	2.11	4.49	0.17	1.63	20.1
LibNteZam,0+000-3+000	3.000	Alt. 2 LibNteZam - 2014	2014	2.16	7.11	0.55	8.29	34.3
LibNteZam,3+000-4+000	1.000	Alt. 2 LibNteZam - 2014	2014	2.16	2.37	0.18	2.76	34.3
Zac-Car,93+000-94+000	1.000	Alt. 1 Zac-Car - 2014	2014	2.07	1.97	0.38	-0.99	-2.6
<b>Todos los tramos</b>	<b>84.000</b>			<b>2.07</b>	<b>\$ 202.85</b>	<b>\$ 13.28</b>	<b>\$ 204.72</b>	

Observando los resultados de cada programa de trabajos, se elaboraron gráficas de IRI promedio (Ver Gráfica 24 y Gráfica 25) y valor presente neto (Ver Gráfica 26), para con estas comparar sus valores y decidir si es mejor usar el programa de trabajos sin restricciones o con restricciones.



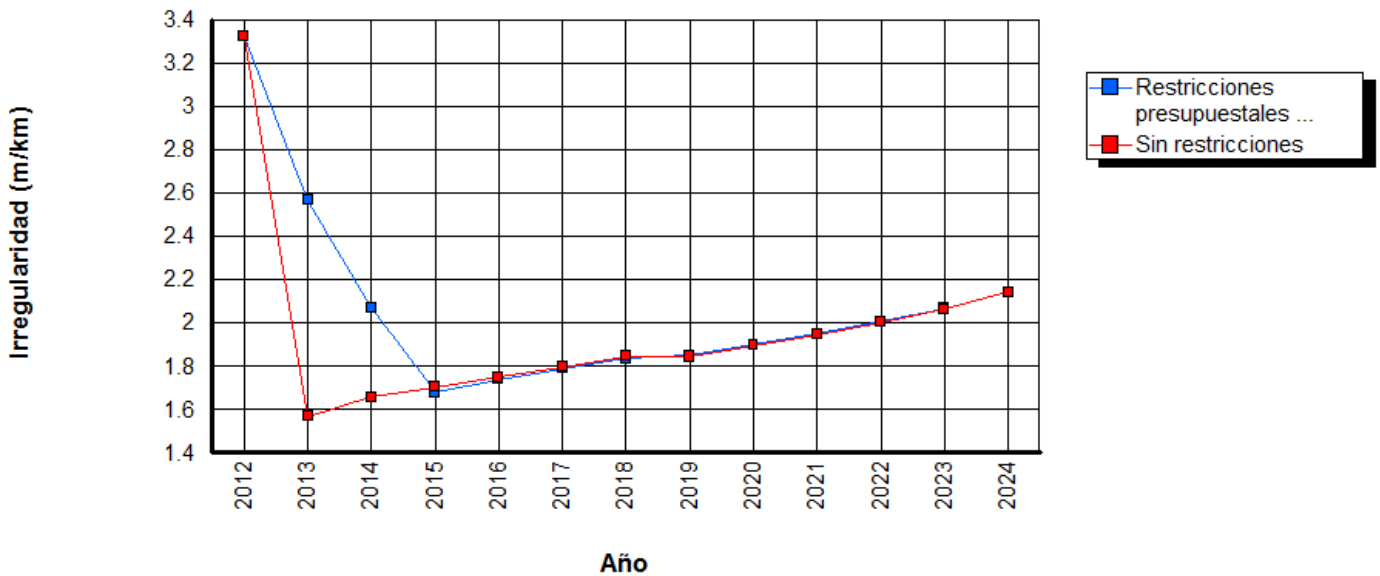
Gráfica 24. Comparación de IRI promedio entre programa sin y con restricciones.

**Irregularidad: Prom. para la red por escenario presupuestal (gráfica)**

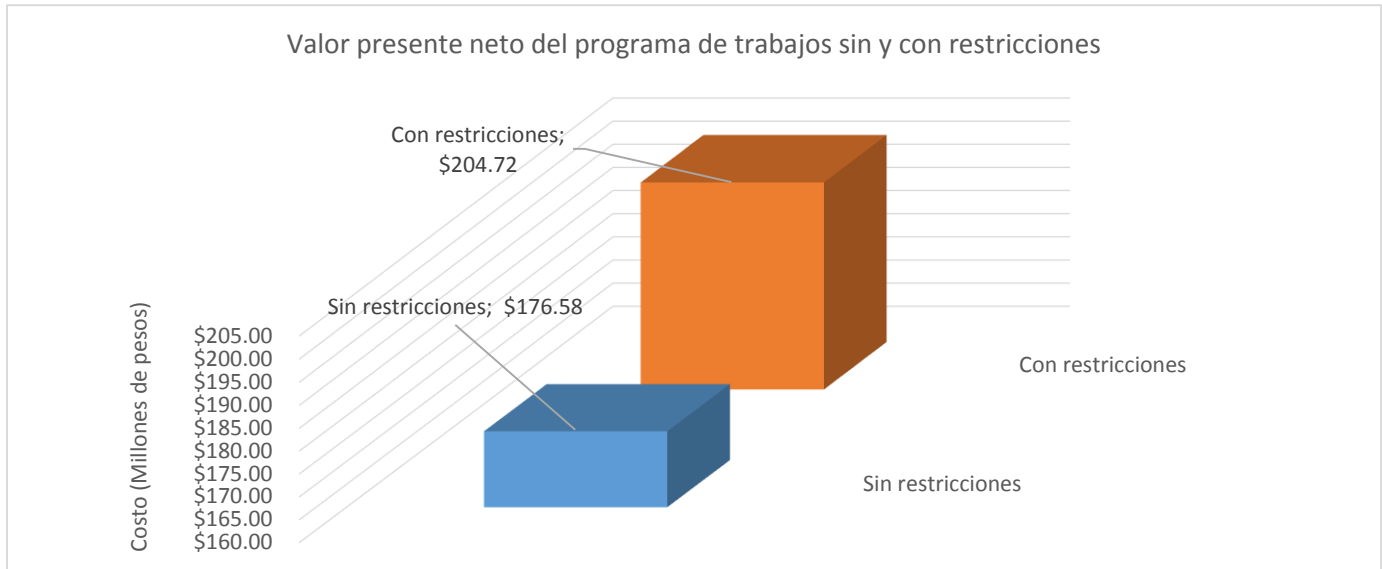
Nombre del estudio: Analisis de estrategia CPCC region Zamora (Maximizar DIRI)  
Fecha de ejecución: 26-07-2016

Tipo de superficie: Asfáltica

Irregularidad promedio anual por clase de superficie para el programa de trabajo optimizado (ponderada por longitud)



Gráfica 25. Gráfica final de IRI promedio de HDM-4



Gráfica 26. Comparación de valor presente neto entre programa sin y con restricciones.

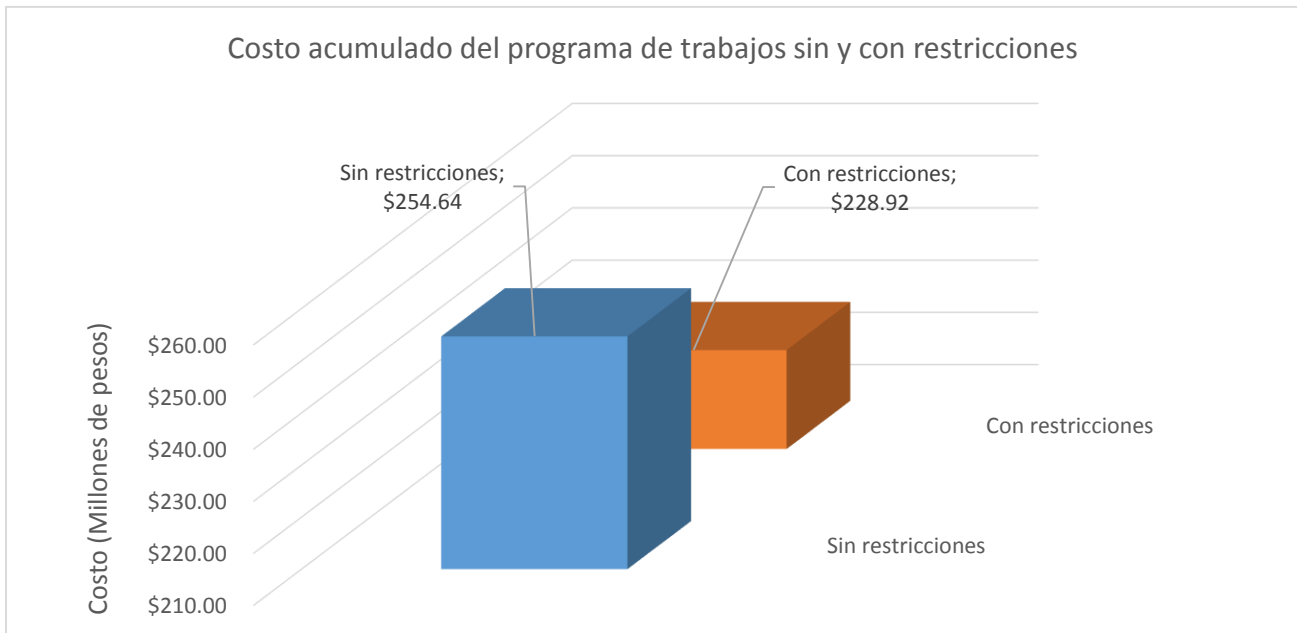
En los programa de trabajos anteriores, el costo acumulado de cada uno no estaba registrado; por lo que, en la Tabla 128 y Tabla 129 se muestran. De la misma manera, se hizo la Gráfica 27 para complementar la decisión de cual programa de trabajos utilizar.

Tabla 128. Costo acumulado de programa de trabajos sin restricciones.

Programa de trabajos sin restricciones presupuestales					VistH-Bris,46+000-47+000	1.0	Rec. Vista Hermosa-Briseñas	2012	3.69
Tramo	Longitud (Km)	Descripción de la alternativa	Año	Costos financieros (millones de pesos)	VistH-Bris,47+000-49+000	2.0	Rec. Vista Hermosa-Briseñas	2012	7.38
					VistH-Bris,49+000-50+000	1.0	Rec. Vista Hermosa-Briseñas	2012	3.69
					VistH-Bris,50+000-52+000	2.0	Rec. Vista Hermosa-Briseñas	2012	7.38
					VistH-Bris,52+000-54+000	2.0	Rec. Vista Hermosa-Briseñas	2012	7.38
					VistH-Bris,54+000-55+900	1.9	Rec. Vista Hermosa-Briseñas	2012	7.01
Car-Zam,111+000-115+000	4.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	12.54	Zac-Car,101+000-104+000	3.0	Rec. Zacapu-Carapan	2012	7.41
Car-Zam,115+000-117+000	2.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	6.27	Zac-Car,104+000-105+020	1.0	Rec. Zacapu-Carapan	2012	2.52
Car-Zam,117+000-119+000	2.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	6.27	Zac-Car,105+020-107+000	2.0	Rec. Zacapu-Carapan	2012	4.89
Car-Zam,119+000-120+000	1.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	3.14	Zac-Car,107+000-109+300	2.3	Rec. Zacapu-Carapan	2012	5.68
Car-Zam,120+000-121+000	1.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	3.14	Zac-Car,82+000-85+000	3.0	Rec. Zacapu-Carapan	2012	7.41
Car-Zam,121+000-123+500	2.5	Rec. Carapan-Zamora	2012	7.84	Zac-Car,85+000-93+000	8.0	Rec. Zacapu-Carapan	2012	19.75
Car-Zam,123+500-125+000	1.5	Rec. Carapan-Zamora	2012	4.70	Zac-Car,93+000-94+000	1.0	Rec. Zacapu-Carapan	2012	2.47
Car-Zam,125+000-128+000	3.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	9.41	Zac-Car,94+000-101+000	7.0	Rec. Zacapu-Carapan	2012	17.28
Car-Zam,128+000-129+000	1.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	3.14	Zac-Car,101+000-104+000	3.0	Fresado y reemplazo	2018	2.82
Car-Zam,129+000-130+000	1.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	3.14	Zac-Car,104+000-105+020	1.0	Fresado y reemplazo	2018	0.96
Car-Zam,130+000-131+000	1.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	3.14	Zac-Car,105+020-107+000	2.0	Fresado y reemplazo	2018	1.86
Car-Zam,131+000-133+000	2.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	6.27	Zac-Car,107+000-109+300	2.3	Fresado y reemplazo	2018	2.16
Car-Zam,133+000-134+000	1.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	2.97	Zac-Car,82+000-85+000	3.0	Fresado y reemplazo	2018	2.82
Car-Zam,134+000-136+000	2.0	Rec. Carapan-Zamora	2012	5.93	Zac-Car,85+000-93+000	8.0	Fresado y reemplazo	2018	7.51
Car-Zam,136+000-139+500	3.5	Rec. Carapan-Zamora	2012	10.38	Zac-Car,93+000-94+000	1.0	Fresado y reemplazo	2018	0.94
Car-Zam,139+500-141+400	1.9	Rec. Carapan-Zamora	2012	5.64	Zac-Car,94+000-101+000	7.0	Fresado y reemplazo	2018	6.57
LibNteZam,0+000-3+000	3.0	Rec. Libramiento Norte de Zamora	2012	8.92	Todos los tramos	84,000			\$ 254.64
LibNteZam,11+000-14+700	3.7	Rec. Libramiento Norte de Zamora	2012	11.01					
LibNteZam,3+000-4+000	1.0	Rec. Libramiento Norte de Zamora	2012	2.97					
LibNteZam,4+000-7+250	3.3	Rec. Libramiento Norte de Zamora	2012	9.67					
LibNteZam,7+250-9+910	2.7	Rec. Libramiento Norte de Zamora	2012	7.91					
LibNteZam,9+910-11+000	1.1	Rec. Libramiento Norte de Zamora	2012	3.24					

Tabla 129. Costo acumulado de programa de trabajos con restricciones.

Programa de trabajos con restricciones presupuestales					Car-Zam,119+000-120+000	1.0	Rec. Carapan-Zamora	2013	3.14
Tramo	Longitud (km)	Descripción de la alternativa	Año	Costos financieros (millones de pesos)	Car-Zam,121+000-123+500	2.5	Rec. Carapan-Zamora	2013	7.84
									Zac-Car,101+000-104+000
				Zac-Car,104+000-105+020	1.0	Rec. Zacapu-Carapan	2013	2.52	
				Zac-Car,105+020-107+000	2.0	Rec. Zacapu-Carapan	2013	4.89	
				Zac-Car,107+000-109+300	2.3	Rec. Zacapu-Carapan	2013	5.68	
				Zac-Car,82+000-85+000	3.0	Rec. Zacapu-Carapan	2013	7.41	
				Zac-Car,85+000-93+000	8.0	Rec. Zacapu-Carapan	2013	19.75	
				Zac-Car,94+000-101+000	7.0	Rec. Zacapu-Carapan	2013	17.28	
				Car-Zam,109+300-111+000	1.7	Rec. Carapan-Zamora	2014	5.33	
				Car-Zam,111+000-115+000	4.0	Rec. Carapan-Zamora	2014	12.54	
				Car-Zam,115+000-117+000	2.0	Rec. Carapan-Zamora	2014	6.27	
				Car-Zam,117+000-119+000	2.0	Rec. Carapan-Zamora	2014	6.27	
				Car-Zam,120+000-121+000	1.0	Rec. Carapan-Zamora	2014	3.14	
				Car-Zam,123+500-125+000	1.5	Rec. Carapan-Zamora	2014	4.70	
				Car-Zam,125+000-128+000	3.0	Rec. Carapan-Zamora	2014	9.41	
				Car-Zam,139+500-141+400	1.9	Rec. Carapan-Zamora	2014	5.64	
				LibNteZam,0+000-3+000	3.0	Rec. Libramiento Norte de Zamora	2014	8.92	
				LibNteZam,3+000-4+000	1.0	Rec. Libramiento Norte de Zamora	2014	2.97	
				Zac-Car,93+000-94+000	1.0	Rec. Zacapu-Carapan	2014	2.47	
				VistH-Bris,46+000-47+000	1.0	Fresado y reemplazo	2018	0.86	
				VistH-Bris,47+000-49+000	2.0	Fresado y reemplazo	2018	1.73	
				VistH-Bris,49+000-50+000	1.0	Fresado y reemplazo	2018	0.86	
				VistH-Bris,50+000-52+000	2.0	Fresado y reemplazo	2018	1.73	
				VistH-Bris,52+000-54+000	2.0	Fresado y reemplazo	2018	1.73	
				VistH-Bris,54+000-55+900	1.9	Fresado y reemplazo	2018	1.64	
				<b>Todos los tramos</b>	<b>84.000</b>			<b>\$ 228.92</b>	



Gráfica 27. Comparación de costos acumulados entre programa sin y con restricciones.

Analizando cada gráfica, se decidió utilizar el **programa de trabajos con restricciones presupuestales**, ya que éste presenta un costo más económico y un mayor valor presente neto.

## 4.2. Programa de trabajos optimizado con restricciones

En la Tabla 130 se muestra el programa de trabajos con restricciones presupuestales a utilizar y su costo acumulado.

Tabla 130. Programa detallado con restricciones presupuestales CPCC.

Programa de trabajos optimizado bajo restricciones presupuestales CPCC														
No.	Tramos	Año												
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Zac. - Car. km 82+000 al 85+000		Rec ZC (IRI)>=2.5 y Año<=2014)											
2	Zac. - Car. km 85+000 al 93+000		Rec ZC (IRI)>=2.5 y Año<=2014)											
3	Zac. - Car. km 93+000 al 94+000			Rec ZC (IRI)>=2.5 y Año<=2014)										
4	Zac. - Car. km 94+000 al 101+000		Rec ZC (IRI)>=2.5 y Año<=2014)											
5	Zac. - Car. km 101+000 al 104+000		Rec ZC (IRI)>=2.5 y Año<=2014)											
6	Zac. - Car. km 104+000 al 105+020		Rec ZC (IRI)>=2.5 y Año<=2014)											
7	Zac. - Car. km 105+020 al 107+000		Rec ZC (IRI)>=2.5 y Año<=2014)											
8	Zac. - Car. km 107+000 al 109+300		Rec ZC (IRI)>=2.5 y Año<=2014)											
9	Car. - Zam km 109+300 al 111+000			Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)										
10	Car. - Zam km 111+000 al 115+000			Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)										
11	Car. - Zam km 115+000 al 117+000			Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)										
12	Car. - Zam km 117+000 al 119+000			Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)										
13	Car. - Zam km 119+000 al 120+000		Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)											
14	Car. - Zam km 120+000 al 121+000			Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)										
15	Car. - Zam km 121+000 al 123+500		Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)											
16	Car. - Zam km 123+500 al 125+000			Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)										
17	Car. - Zam km 125+000 al 128+000			Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)										
18	Car. - Zam km 128+000 al 129+000	Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)												
19	Car. - Zam km 129+000 al 130+000	Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)												
20	Car. - Zam km 130+000 al 131+000	Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)												

21	Car. - Zam km 131+000 al 133+000	Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)												
22	Car. - Zam km 133+000 al 134+000	Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)												
23	Car. - Zam km 134+000 al 136+000	Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)												
24	Car. - Zam km 136+000 al 139+500	Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)												
25	Car. - Zam km 139+500 al 141+400			Rec CZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)										
26	Lib. Nte. de Zamora Km 0+000 al 3+000			Rec LNZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)										
27	Lib. Nte. de Zamora Km 3+000 al 4+000			Rec LNZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)										
28	Lib. Nte. de Zamora Km 4+000 al 7+250	Rec LNZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)												
29	Lib. Nte. de Zamora Km 7+250 al 9+910	Rec LNZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)												
30	Lib. Nte. de Zamora Km 9+910 al 11+000	Rec LNZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)												
31	Lib. Nte. de Zamora Km 11+000 al 14+700	Rec LNZ (IRI)>=2.5 y Año<=2014)												
32	Vist. H. - Bris. Km 46+000 al 47+000	Fres.VHB (IRI)>=2.5 y Año<=2014)							Fres Per. (Año 2018)					
33	Vist. H. - Bris. Km 47+000 al 49+000	Fres.VHB (IRI)>=2.5 y Año<=2014)							Fres Per. (Año 2018)					
34	Vist. H. - Bris. Km 49+000 al 50+000	Fres.VHB (IRI)>=2.5 y Año<=2014)							Fres Per. (Año 2018)					
35	Vist. H. - Bris. Km 50+000 al 52+000	Fres.VHB (IRI)>=2.5 y Año<=2014)							Fres Per. (Año 2018)					
36	Vist. H. - Bris. Km 52+000 al 54+000	Fres.VHB (IRI)>=2.5 y Año<=2014)							Fres Per. (Año 2018)					
37	Vist. H. - Bris. Km 54+000 al 55+900	Fres.VHB (IRI)>=2.5 y Año<=2014)							Fres Per. (Año 2018)					
El costo acumulado del programa de trabajos optimizado es de 228.92 millones de pesos														

	<b>Rec. ZC, Rec. CZ y Rec. LNZ (Reconstrucciones)</b>
	<b>Fres. VHB (Fresado y reemplazo)</b>
	<b>Sobrecarpeta</b>
	<b>Fres. Per. (Mantenimiento periódico fresado y reemplazo)</b>

El presupuesto disponible para llevar a cabo el programa de trabajos de conservación, se conforma por el presupuesto de cada etapa estipulada en el contrato, los cuales se muestran en la Tabla 131 y Tabla 132.

Tabla 131. Presupuesto disponible para etapa de desarrollo.

Etapa de desarrollo						
Ruta	Carretera	Tramo	Del KM	Al Km	Longitud efectiva	Presupuesto por tramo
15	MORELIA-GUADALAJARA	Zacapu-Carapan	82+000	109+300	27.3	\$ 66,732,508.27
15	MORELIA-GUADALAJARA	Carapan-Zamora	109+300	141+400	32.1	\$ 78,465,696.54
15	MORELIA-GUADALAJARA	Lib. Norte de Zamora.	0+000	14+700	14.7	\$ 35,932,889.07
110	ZAMORA-GUADALAJARA	Vist. Hermosa-Briseñas	46+000	55+900	9.9	\$ 24,199,700.80
<b>Total</b>					<b>84</b>	<b>\$ 205,330,794.69</b>

Tabla 132. Presupuesto disponible para etapa de conservación.

Etapa de conservación						
Ruta	Carretera	Tramo	Del KM	Al Km	Longitud efectiva	Presupuesto por tramo
15	MORELIA-GUADALAJARA	Zacapu-Carapan	82+000	109+300	27.3	\$ 28,398,545.60
15	MORELIA-GUADALAJARA	Carapan-Zamora	109+300	141+400	32.1	\$ 38,890,196.23
15	MORELIA-GUADALAJARA	Lib. Norte de Zamora.	0+000	14+700	14.7	\$ 21,123,397.56
110	ZAMORA-GUADALAJARA	Vist. Hermosa-Briseñas	46+000	55+900	9.9	\$ 9,046,436.25
<b>Total</b>					<b>84</b>	<b>\$ 97,458,575.63</b>

El presupuesto total es de 302.79 millos de pesos, con el cual queda solventado el costo del programa de trabajos optimizado obtenido en el HDM-4.

### 4.3. Comparación con informes presentados a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

En esta sección se compararán los resultados entregados por contratistas a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y los obtenidos en el presente trabajo; los resultados que se comprarán son los valores de IRI inicial, alternativas óptimas, VPN y TIR. Dicha comparativa está plasmada en la Tabla 133.

Tabla 133. Comparación entre resultados obtenidos por los contratistas y en este trabajo.

Tramo	IRI inicial		Alternativa óptima		Valor presente neta (VPN)		Tasa interna de retorno (TIR)	
	Contratistas	Tesis	Contratistas	Tesis	Contratistas	Tesis	Contratistas	Tesis
Zac-Car, 82+000-85+000	2.90	2.39	Reconstrucción	Reconstrucción	299.198	-3.352	78.1	-1.2
Zac-Car, 85+000-93+000	2.90	2.39	Reconstrucción	Reconstrucción	299.198	-8.568	78.1	-0.4
Zac-Car, 93+000-94+000	1.90	2.39	Reconstrucción	Reconstrucción	147.595	-0.994	233.3	-2.6
Zac-Car, 94+000-101+000	1.90	2.39	Reconstrucción	Reconstrucción	147.595	0.402	233.3	12.5
Car-Zam, 109+300-111+000	3.00	3.14	Reconstrucción	Reconstrucción	34.570	-1.033	88.8	5.4
Car-Zam, 111+000-115+000	3.00	3.14	Reconstrucción	Reconstrucción	34.570	-2.435	88.8	5.4
Car-Zam, 115+000-117+000	3.00	2.63	Reconstrucción	Reconstrucción	34.570	-0.904	88.8	8.0
Car-Zam, 117+000-119+000	3.00	2.63	Reconstrucción	Reconstrucción	34.570	-0.904	88.8	8.0
Car-Zam, 119+000-120+000	3.00	3.27	Reconstrucción	Reconstrucción	34.570	1.754	88.8	22.9
Car-Zam, 120+000-121+000	3.20	3.27	Reconstrucción	Reconstrucción	52.190	1.760	118.5	25.5
Car-Zam, 121+000-123+500	3.20	2.94	Reconstrucción	Reconstrucción	52.190	0.990	118.5	14.6
Car-Zam, 123+500-125+000	3.20	2.94	Reconstrucción	Reconstrucción	52.190	1.125	118.5	17.9
Car-Zam, 125+000-128+000	3.20	2.94	Reconstrucción	Reconstrucción	52.190	5.899	118.5	25.2
Car-Zam, 128+000-129+000	3.20	3.53	Reconstrucción	Reconstrucción	52.190	4.450	118.5	31.0
Car-Zam, 129+000-130+000	3.20	3.53	Reconstrucción	Reconstrucción	52.190	4.451	118.5	31.0
Car-Zam, 130+000-131+000	3.20	3.53	Reconstrucción	Reconstrucción	52.190	10.938	118.5	45.1
Car-Zam, 131+000-133+000	3.60	2.46	Reconstrucción	Reconstrucción	401.260	7.225	277.8	26.2
Car-Zam, 133+000-134+000	3.60	2.46	Reconstrucción	Reconstrucción	401.260	23.655	277.8	61.0
Car-Zam, 134+000-136+000	3.60	2.46	Reconstrucción	Reconstrucción	401.260	2.161	277.8	17.7
Car-Zam, 136+000-139+500	3.60	2.99	Reconstrucción	Reconstrucción	401.260	4.486	277.8	19.6

LibNteZam, 3+000-4+00	3.90	3.43	Fresado y reemplazo	Reconstrucción	1015.447	2.762	158.8	34.3
LibNteZam, 4+000-7+250	3.90	3.43	Fresado y reemplazo	Reconstrucción	1015.447	12.866	158.8	32.2
LibNteZam, 7+250-9+910	3.90	3.43	Fresado y reemplazo	Reconstrucción	1015.447	3.790	158.8	21.1
LibNteZam, 9+910-11+000	3.90	3.43	Fresado y reemplazo	Reconstrucción	1015.447	1.978	158.8	22.9
LibNteZam, 11+000-14+700	3.90	5.70	Fresado y reemplazo	Reconstrucción	1015.447	33.041	158.8	64.3
VistH-Bris, 46+000-47+000	2.40	3.87	Reconstrucción	Fresado y reemplazo; periódica	99.072	5.472	34.7	127.2
VistH-Bris, 47+000-49+000	2.40	3.87	Reconstrucción	Fresado y reemplazo; periódica	99.072	10.942	34.7	127.1
VistH-Bris, 49+000-50+000	2.40	6.69	Reconstrucción	Fresado y reemplazo; periódica	99.072	13.049	34.7	279.6
VistH-Bris, 50+000-52+000	2.40	6.69	Reconstrucción	Fresado y reemplazo; periódica	99.072	25.675	34.7	278.9
VistH-Bris, 52+000-54+000	2.40	3.55	Reconstrucción	Fresado y reemplazo; periódica	99.072	8.971	34.7	102.0
VistH-Bris, 54+000-55+900	2.40	3.55	Reconstrucción	Fresado y reemplazo; periódica	99.072	6.309	34.7	77.6

Analizando la comparación, se encontraron ligeras discordancias debido al planteamiento de las alternativas de conservación propuestas. Centrándonos en el tramo Zac-Car, del Km 93+000 al Km 94+000, en la Gráfica 28 se observa que la evolución del deterioro es de manera exponencial pareciendo que la alternativa base no cuenta con el mantenimiento rutinario y además, se continua sin respetar el criterio de vida remanente. En cambio en la Gráfica 29 se indica una tendencia lineal en la alternativa base a sabiendas que está integrado el mantenimiento rutinario, además de cumplir cabalmente el criterio de vida remanente.

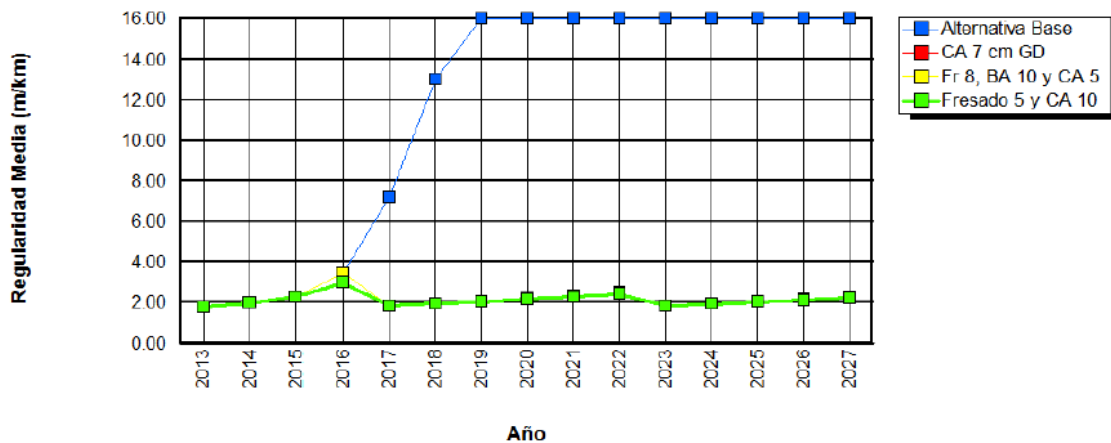
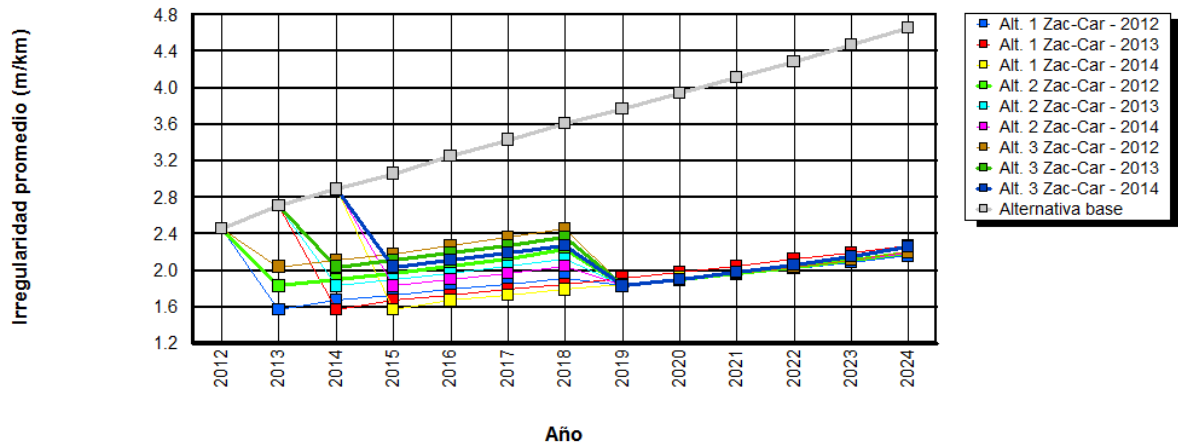


Figura 28. Representación gráfica de la evolución del IRI para el subtramo del km 93+000 al km 99+000.

Gráfica 28. Irregularidad promedio obtenida por los contratistas.

Tramo: Zac-Car,93+000-94+000  
 Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

ID tramo: ZC09309403 Tipo de carretera: Primaria o troncal Longitud: 1.00km  
 Ascensos y descensos: 20.00m/km Ancho: 7.80m Curvatura: 300.00grados/km



Gráfica 29. Irregularidad promedio obtenida en este trabajo.

En lo que respecta a los indicadores económicos del mismo tramo anteriormente mencionado, se observa que los valores de VPN (147.595) y de TIR (233.3) reportados por los contratistas, resultan ser muy altos, por lo que genera cierta incertidumbre. Es importante aclarar que en algunos tramos de este trabajo, resultan con valores negativos de VPN y TIR debido a los costos que se utilizaron; esto causa algo confusión, ya que se usaron, si no los mismos, costos parecidos a los que los contratistas usaron y existe una gran diferencia entre los valores de VPN y TIR de este trabajo y los de los contratistas

## 5. Conclusiones

La naturaleza de la información es un aspecto medular en la eficacia que deben presentar las acciones de conservación a ejecutar, y en la eficiencia del aprovechamiento de los recursos disponibles; por lo tanto, es imperioso tener una base de datos lo más completa y verídica posible, para que los resultados obtenidos de un sistema de gestión sean los adecuados.

Se observó que se puede emplear la herramienta de análisis de estrategia en los casos en los que sea más adecuado utilizar la herramienta de análisis de programa, para así tener la posibilidad de evaluar el desempeño de los activos y no sólo la rentabilidad de la inversión.

El hecho de que el administrador del sistema defina los efectos esperados de cada una de las acciones de conservación, conlleva una gran responsabilidad y la realización de un buen control de calidad en la ejecución de los trabajos, ya que si los resultados no reflejan lo que el administrador definió, se pueden demeritar las metodologías de gestión y en lugar de presentar beneficios, se incurre en más problemas de los que ya se tienen.

El período que se considere para realizar el análisis es relevante, ya que con base a éste se definirán las restricciones presupuestales para optimizar lo mejor posible el programa de trabajos y se sabrá el porcentaje de beneficios que se tendrán.

Ejercer inversiones fuertes con tasas de actualización bajas en los primeros años del período de análisis, genera mayores beneficios que si se ejercieran en años posteriores; esto provoca un impacto positivo en el VPN, lo cual se traduce en una alta rentabilidad.

Es importante dejar en claro que la optimización basada en el IRI hace que la rentabilidad de las inversiones baje, a comparación con la optimización basada en el VPN, pero para el caso de este trabajo lo más adecuado es utilizar la optimización basada en el IRI para cumplir con las condiciones del contrato.

La asignación insuficiente de los recursos económicos al área de conservación de carreteras ha sido uno de los problemas más difíciles de solucionar, esto acarrea que el funcionamiento de los sistemas de gestión se merme y se utilicen acciones de conservación que no sean las idóneas, lo cual da como resultado que no se cumplan las metas previstas.

El IRI no sólo es un parámetro que evalúa la condición superficial del pavimento, sino que también, éste refleja la condición estructural del mismo; esto se visualiza en la ecuación para calcular el cambio de regularidad, en la que existe el factor  $\Delta RI_s$  que significa cambio de la regularidad debido al deterioro estructural. Además, en el reporte de condición de la carretera (pavimentos asfálticos), se observa que el incremento del número estructural de la sección en estudio, da como resultado el decremento del valor del IRI.

El momento de actuación para llevar a cabo una acción de conservación es de suma importancia, ya que de esto depende que se obtengan los resultados deseados. Para lograr lo mencionado anteriormente, se debe de contar con los recursos económicos necesarios, ya que si no es así, se ejecutarían acciones conservación diferentes a las requeridas para solucionar la problemática actual.

El tipo de resultados de la evaluación económica que se reportarán, depende del ente que tomará la decisión de implementar o no el proyecto.

## 6. Sugerencias para trabajos futuros

En el siguiente listado se mencionan algunos de los posibles trabajos que se pueden desarrollar:

- 1.- Probar los modelos incrementales de la parte de pavimentos rígidos del HDM-4.
- 2.- Analizar los coeficientes de calibración del HDM-4 para representar de manera mejor el desempeño de estructuras de pavimento modernos.
- 3.- Generar una herramienta para evaluar la consistencia de los datos con los que se alimenta al HDM-4.
- 4.- Generar una herramienta para mejorar la presentación de los resultados arrojados por el HDM-4.
- 5.- Modernizar o simplificar la interfaz del programa.
- 6.- Diseñar la posibilidad de utilizar varias flotas vehiculares en un solo análisis.

---

---

## Referencias

- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2003). Standard Guide for Network Level Pavement Management (Norma E1166-00). In *Annual Book of ASTM Standards 2010 Sectios four Construction* (Vols. 04.03 Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems, p. 1661). West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América: ASTM International.
- Arriaga Patiño, M. C., Garnica Anguas , P., & Rico Rodriguez , A. (1998). Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México. *Publicación Técnica No. 108*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Arroyo Osorno, J. A., & Aguerrebere Salido, R. (2002). Estado superficial y costos de operación en carreteras. *Publicación Técnica No. 202*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Carrillo Bahena, J. M. (2016, Enero). La ingeniería económica y de costos en la obra pública. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres, Num. 39*, 32-34.
- Chavarría Aguilar, E., Ospina González, R. J., & Robles Acosta, M. C. (2011). *Ingeniería económica para la toma de decisiones*. Zapopan: amate.
- Córdova Alanis, J. M. (2005, Agosto). Índice de Rugosidad Internacional (IRI). (AMIVTAC, Ed.)
- Cortés Prado, C. A. (2005). Metodología para la selección de alternativas de conservación de carreteras, usando el modelo HDM4. (Universidad de las Américas Puebla, Ed.) Cholula, Puebla, México.
- Coss Bu , R. (1991). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión* (Segunda edición ed.). D.F., México: Limusa.

- 
- 
- Cuevas Colunga, A. C., Villegas Villegas, N., Mayoral Grajeda, E. F., & Mendoza Díaz, A. (2014). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2012). *Publicación Técnica No. 57*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- De Buen Richkarday, O. (2015, Mayo). Diez mensajes clave sobre la conservación de carreteras. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres*, 16-23.
- Dirección General de Conservación de Carreteras. (2011, Agosto 26). Contratos plurianuales de conservación de carreteras. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Ed.) México D.F.
- Dirección General de Conservación de Carreteras. (2012, Julio). Características generales del esquema CPCC. México D.F., México.
- Dirección General de Desarrollo Carretero. (2010, Febrero). Asociaciones público-privadas para el desarrollo carretero de México. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Ed.) D.F., México.
- Dirección General de Servicios Técnicos. (2014). *Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de las carreteras en México*. (S. d. Transportes, Ed.) México DF, México.
- Fernández Almanza, J. (2015, Julio). Conservación de carreteras con experiencias e innovaciones tecnológicas. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres*, Num. 36, 26-30.
- Fernández Campillo, A. (2014, Noviembre). Conectividad eficiente a través de la conservación. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres*, Num. 32, 10-11.
- Fonseca Rodríguez, C. H. ((s.f.)). Administración de pavimentos para carreteras de México. (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Mo, Ed.) Monterrey, Nuevo León, México.

- Garnica Anguas, P., & Correa, A. (2004). Conceptos mecanicistas en pavimentos. *Publicación Técnica No. 258*. ( Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, Méxic.
- Gobierno de Michoacán. (2010, Octubre 28). *Vive Michoacán*. Retrieved Agosto 23, 2016, from <http://vivemichoacanvivemexico.blogspot.mx/2010/10/michocan.html>
- Haas, R., Hudson, W. R., & Falls, L. C. (2011). 8th International Conference on Managing Pavement Assets. *Evolution of and future challenges for pavement management*, (p. 14). Santiago, Chile.
- Haas, R., Hudson, W. R., & Falls, L. C. (2015). *Pavement Asset Management*. Canadá: Scrivener Publishing.
- Haas, R., Hundson, W. R., & Zaniewski, J. (1994). *Modern pavement management*. Malabar, Florida: Krieger publishing company.
- INEGI. ((s.f.)). *Cuentame...* Retrieved Agosto 23, 2016, from <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/territorio/clima.aspx?tema=me&e=16>
- Instituto Nacional de Administración Pública, A.C. (2012). *Evaluación Estratégica 2009-2011 del Programa K032 Conservación de Infraestructura Carretera*. D.F.
- Kerali, H. G., Odoki, J. B., & Stannard, E. E. (2006). *HDM-4 Highway Development & Management. Volume one: Overview of HDM-4*. Paris: The World Road Association (PIARC).
- López Valdés, D. B., & Garnica Anguas, P. (2002). Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carrteras de México. *Publicación Técnica No. 170*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Safandila, Querétaro, México.

- 
- 
- Mendoza Díaz, A., Abarca Pérez, E., & Saucedo Rojas, M. (2011). Prácticas para evaluar la calidad de infraestructura carretera de cuota. *Publicación Técnica No. 353*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Morosiuk, G., Rilley, M., & Toole, T. (2006). *HDM-4 Highway Development & Management. Volume two: Applications Guide*. Paris: The World Road Association.
- Obregón Biosca, S. (2009). Capacidad vial. Queréaro, Querétaro, México.
- Odoki, J., & Kerali, H. G. (2006). *HDM-4 Highway Development & Management. Volume Four: Analytical Framework and Model Descriptions*. Paris: The World Road Association (PIARC).
- Orozco Orozco, J., Téllez Gutiérrez, R., Solorio Murillo, R., Pérez Salazar, A., Sánchez Loo, M. A., & Torres Ortiz, S. (2004). Sistema de evaluación de pavimentos Versió 2.0. *Publicación Técnica No. 245*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Osio Méndez, J. M. (2010, Septiembre). Aplicación en México del HDM-4 en la planeación de la conservación de carreteras. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres, Num. 7*, 24-28.
- Rico Rodríguez, A., Orozco y Orozco, J. M., Téllez Gutiérrez, R., & Pérez García, A. (1990). Primera fase sistema mexicano para la administración de los pavimentos (SIMAP). *Documento Técnico No. 3*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Rico Rodriguez, A., Téllez Gutiérrez, R., & Anguas Garnica, P. (1998). Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias. *Publicación Técnica No. 104*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Safandila, Querétaro, México.

- 
- 
- Salgado Torres, M. (2015, Agosto). Módulo conceptos de gestión de infraestructura vial. (I. M. Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Samuelson, P. A., & Hordhaus, W. D. (2006). *Economía*. Mc Graw-Hill.
- Sánchez Domínguez, F. ((n.d.)). El concepto del IRI y sus implicaciones económicas.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). Carpetas asfálticas con mezcla en caliente. México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014, Noviembre 14). Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014. Pesos y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte. (Diario Oficial de la Federación, Ed.) D.F, México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). Principales estadísticas del sector de comunicaciones y transportes. D.F., México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). Programa nacional de infraestructura 2014-2018. D.F., México.
- Solminihaç Tampier, H. E. (2001). *Gestión de infraestructura vial* (Segunda edición ampliada ed.). Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Solorio Murillo, J. R., Márquez Mendoza, Z. D., Montoya Ortega, M., Cárdenas Rodríguez, S. L., & Hernández Domínguez, R. I. (2014). Aplicación de métodos markovianos en el modelado de deterioro de carreteras. *Publicación Técnica No. 396*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Solorio Murillo, J., Hernández Domínguez, R., Montoya Ortega, M., & Cárdenas Rodríguez, S. L. (2013). Metodología para la elaboración de anteproyectos de presupuesto para la conservación de autopistas con HDM-4. *Publicación Técnica No. 375*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.

- 
- 
- Solorio Murillo, R., Hernández Domínguez, R., & Garnica Anguas, P. (2013, Enero). Gestión del patrimonio vial. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres*, Num. 21, 10-14.
- Solorio Murillo, R., Hernández Domínguez, R., & Gómez López, J. (2004). Análisis de sensibilidad de los modelos de deterioro del HDM-4 para pavimentos asfálticos. *Publicación Técnica No. 253*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Stannard, E. E., Wightman, D. C., & Dakin, J. M. (2006). *HDM-4 Highway Development & Management. Volume three: Software user guide*. París: The World Road Association.
- TYPSA. (2001). *Temas relevantes al uso del modelo HDM en la planificación y programación de inversiones viales*. (Dirección General de Conservación de Carreteras, Ed.) México D.F.
- Videla C., C., & Echeverría, G. (1991). Administración de la conservación de pavimentos: un caso de transferencia y adaptación de tecnología. *Ingeniería de construcción*, 91-106.
- Weihmann I., G. J., & Figeroa P., E. (2015, Julio 21). *Agencia Metropolitana de desarrollo*. Retrieved Agosto 17, 2016, from <http://www.metroplan.mx/2015/07/21/las-asociaciones-publico-privadas-impulsoras-del-desarrollo-de-infraestructura-en-mexico/>

---

---

## Bibliografía

- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2003). Standard Guide for Network Level Pavement Management (Norma E1166-00). In *Annual Book of ASTM Standards 2010 Sectios four Construction* (Vols. 04.03 Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems, p. 1661). West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América: ASTM International.
- Arriaga Patiño, M. C., Garnica Anguas , P., & Rico Rodriguez , A. (1998). Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México. *Publicación Técnica No. 108*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Arroyo Osorno, J. A., & Aguerrebere Salido, R. (2002). Estado superficial y costos de operación en carreteras. *Publicación Técnica No. 202*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Carrillo Bahena, J. M. (2016, Enero). La ingeniería económica y de costos en la obra pública. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres, Num. 39*, 32-34.
- Chavarría Aguilar, E., Ospina González, R. J., & Robles Acosta, M. C. (2011). *Ingeniería económica para la toma de decisiones*. Zapopan: amate.
- Córdova Alanis, J. M. (2005, Agosto). Índice de Rugosidad Internacional (IRI). (AMIVTAC, Ed.)
- Cortés Prado, C. A. (2005). Metodología para la selección de alternativas de conservación de carreteras, usando el modelo HDM4. (Universidad de las Américas Puebla, Ed.) Cholula, Puebla, México.
- Coss Bu , R. (1991). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión* (Segunda edición ed.). D.F., México: Limusa.
- Cuevas Colunga, A. C., Villegas Villegas, N., Mayoral Grajeda, E. F., & Mendoza Díaz, A. (2014). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales

- 
- 
- (2012). *Publicación Técnica No. 57*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- De Buen Richkarday, O. (2015, Mayo). Diez mensajes clave sobre la conservación de carreteras. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres*, 16-23.
- Dirección General de Conservación de Carreteras. (2011, Agosto 26). Contratos plurianuales de conservación de carreteras. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Ed.) México D.F.
- Dirección General de Conservación de Carreteras. (2012, Julio). Características generales del esquema CPCC. México D.F., México.
- Dirección General de Desarrollo Carretero. (2010, Febrero). Asociaciones público-privadas para el desarrollo carretero de México. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Ed.) D.F., México.
- Dirección general de Servicios Técnicos. (2014). *Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de las carreteras en México*. (S. d. Transportes, Ed.) México DF, México.
- Fernández Almanza, J. (2015, Julio). Conservación de carreteras con experiencias e innovaciones tecnológicas. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres*, Num. 36, 26-30.
- Fernández Campillo, A. (2014, Noviembre). Conectividad eficiente a través de la conservación. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres*, Num. 32, 10-11.
- Fonseca Rodríguez, C. H. ((s.f.)). Administración de pavimentos para carreteras de México. (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Mo, Ed.) Monterrey, Nuevo León, México.
- Garnica Anguas, P., & Correa, A. (2004). Conceptos mecanicistas en pavimentos. *Publicación Técnica No. 258*. ( Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, Méxic.

- Gobierno de Michoacán. (2010, Octubre 28). *Vive Michoacán*. Retrieved Agosto 23, 2016, from <http://vivemichoacanvivemexico.blogspot.mx/2010/10/michocan.html>
- Haas, R., Hudson, W. R., & Falls, L. C. (2011). 8th International Conference on Managing Pavement Assets. *Evolution of and future challenges for pavement management*, (p. 14). Santiago, Chile.
- Haas, R., Hudson, W. R., & Falls, L. C. (2015). *Pavement Asset Management*. Canadá: Scrivener Publishing.
- Haas, R., Hudson, W. R., & Zaniewski, J. (1994). *Modern pavement management*. Malabar, Florida: Krieger publishing company.
- INEGI. ((s.f.)). *Cuentame...* Retrieved Agosto 23, 2016, from <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/territorio/clima.aspx?tema=me&e=16>
- Instituto Nacional de Administración Pública, A.C. (2012). *Evaluación Estratégica 2009-2011 del Programa K032 Conservación de Infraestructura Carretera*. D.F.
- Kerali, H. G., Odoki, J. B., & Stannard, E. E. (2006). *HDM-4 Highway Development & Management. Volume one: Overview of HDM-4*. Paris: The World Road Association (PIARC).
- López Valdés, D. B., & Garnica Anguas, P. (2002). Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México. *Publicación Técnica No. 170*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Mendoza Díaz, A., Abarca Pérez, E., & Saucedo Rojas, M. (2011). Prácticas para evaluar la calidad de infraestructura carretera de cuota. *Publicación Técnica No. 353*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.

- Morosiuk, G., Rilley, M., & Toole, T. (2006). *HDM-4 Highway Development & Management. Volume two: Applications Guide*. Paris: The World Road Association.
- Obregón Biosca, S. (2009). Capacidad vial. Queréaro, Querétaro, México.
- Odoki, J., & Kerali, H. G. (2006). *HDM-4 Highway Development & Management. Volume Four: Analytical Framework and Model Descriptions*. Paris: The World Road Association (PIARC).
- Orozco Orozco, J., Téllez Gutiérrez, R., Solorio Murillo, R., Pérez Salazar, A., Sánchez Loo, M. A., & Torres Ortiz, S. (2004). Sistema de evaluación de pavimentos Versió 2.0. *Publicación Técnica No. 245*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Osio Méndez, J. M. (2010, Septiembre). Aplicación en México del HDM-4 en la planeación de la conservación de carreteras. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres, Num. 7*, 24-28.
- Rico Rodríguez, A., Orozco y Orozco, J. M., Téllez Gutiérrez, R., & Pérez García, A. (1990). Primera fase sistema mexicano para la administración de los pavimentos (SIMAP). *Documento Técnico No. 3*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Rico Rodriguez, A., Téllez Gutiérrez, R., & Anguas Garnica, P. (1998). Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias. *Publicación Técnica No. 104*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Safandila, Querétaro, México.
- Salgado Torres, M. (2015, Agosto). Módulo conceptos de gestión de infraestructura vial. (I. M. Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Samuelson, P. A., & Hordhaus, W. D. (2006). *Economía*. Mc Graw-Hill.
- Sánchez Domínguez, F. ((n.d.)). El concepto del IRI y sus implicaciones económicas.

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). Carpetas asfálticas con mezcla en caliente. México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014, Noviembre 14). Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014. Pesos y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte. (Diario Oficial de la Federación, Ed.) D.F, México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). Principales estadísticas del sector de comunicaciones y transportes. D.F., México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). Programa nacional de infraestructura 2014-2018. D.F., México.
- Solminihaç Tampier, H. E. (2001). *Gestión de infraestructura vial* (Segunda edición ampliada ed.). Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Solorio Murillo, J. R., Márquez Mendoza, Z. D., Montoya Ortega, M., Cárdenas Rodríguez, S. L., & Hernández Domínguez, R. I. (2014). Aplicación de métodos markovianos en el modelado de deterioro de carreteras. *Publicación Técnica No. 396*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Solorio Murillo, J., Hernández Domínguez, R., Montoya Ortega, M., & Cárdenas Rodríguez, S. L. (2013). Metodología para la elaboración de anteproyectos de presupuesto para la conservación de autopistas con HDM-4. *Publicación Técnica No. 375*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Solorio Murillo, R., Hernández Domínguez, R., & Garnica Anguas, P. (2013, Enero). Gestión del patrimonio vial. (AMIVTAC, Ed.) *Vías Terrestres, Num. 21*, 10-14.
- Solorio Murillo, R., Hernández Domínguez, R., & Gómez López, J. (2004). Análisis de sensibilidad de los modelos de deterioro del HDM-4 para pavimentos

- asfálticos. *Publicación Técnica No. 253*. (Instituto Mexicano del Transporte, Ed.) Sanfandila, Querétaro, México.
- Stannard, E. E., Wightman, D. C., & Dakin, J. M. (2006). *HDM-4 Highway Development & Management. Volume three: Software user guide*. Paris: The World Road Association.
- TYPSA. (2001). *Temas relevantes al uso del modelo HDM en la planificación y programación de inversiones viales*. (Dirección General de Conservación de Carreteras, Ed.) México D.F.
- Videla C., C., & Echeverría, G. (1991). Administración de la conservación de pavimentos: un caso de transferencia y adaptación de tecnología. *Ingeniería de construcción*, 91-106.
- Weihmann I., G. J., & Figeroa P., E. (2015, Julio 21). *Agencia Metropolitana de desarrollo*. Retrieved Agosto 17, 2016, from <http://www.metroplan.mx/2015/07/21/las-asociaciones-publico-privadas-impulsoras-del-desarrollo-de-infraestructura-en-mexico/>

## Glosario

### **Proyecto**

Es una actividad que se realiza durante un plazo definido de tiempo para lograr un objetivo. Es la inversión adicional sobre la cual se esperan beneficios.

### **Costo**

Es el gasto económico que representa la fabricación de un producto o prestación de un servicio.

Impactos negativos.

Es lo que hay que entregar a cambio para obtener diversos insumos necesarios para su producción.

### **Precio**

Es la cantidad de dinero dada a cambio de una mercancía o servicio.

### **Beneficio**

Deberá medirse como el aumento neto en el ingreso nacional, este ingreso pueden ser recursos nuevos o ahorros producidos a raíz de la inversión. Impactos positivos.

### **Tasa de actualización**

Relación entre el valor futuro y el valor presente de una suma de capital.

### **Interés**

Es una cantidad de dinero que se paga por el uso de una cantidad de dinero durante un plazo determinado.

Es el precio que se paga por el capital.

Es la manifestación del valor del dinero en el tiempo

**Tasa de interés**

Es la relación entre la cantidad de dinero que se paga al final del plazo determinado y la cantidad de dinero que se recibió al inicio de ese plazo.

Es una medida del valor del dinero en el tiempo.

Nos indica la cantidad de dinero que produce más dinero.

**TREMA (Tasa de Recuperación Mínima Atractiva)**

Es la tasa con la cual una empresa espera obtener un rendimiento mínimo de un proyecto. Con valores de TREMA pequeños, existen más posibilidades de aceptación ya que el VPN es mas grande.

**Enfoques de análisis para proyectos**

Financiero, económico y moneda extranjera.

**Análisis económico**

Se resume en el cálculo de los impactos relacionados con la decisión de abandonar la situación actual y optar por un nuevo curso de acción. Mide las bondades de implantar el proyecto desde el punto de vista de la sociedad como un todo. Lo que interesa es el flujo de los recursos y no del dinero.

**Precios constantes o económicos**

Lo que la sociedad esta dispuesta a pagar. Son una serie de precios en los que se ha eliminado los efectos de la inflación.

**Precios corrientes o financieros**

Los que realmente paga la sociedad. Son precios que incluyen el efecto de la inflación.

**Eficiencia económica**

Se logra cuando la economía de un país está funcionando de tal forma que logre maximizar el valor del consumo a lo largo del tiempo. Se divide en 3: eficiencia estática, eficiencia dinámica y eficiencia distribucional.

**Costo económico**

Es el incremento en inversión de capital cuya rentabilidad se establece mediante un estudio de factibilidad. Debe asegurar el comportamiento adecuado para garantizar la materialización de beneficios calculados.

**Análisis financiero**

Se enfatiza los flujos de capital requeridos para el desarrollo exitoso del proyecto. Se enfoca desde el punto de vista del propietario del proyecto.

**Flujo de efectivo**

Es la representación del movimiento de ingresos y gastos durante un tiempo determinado.

**Rentabilidad**

Relación existente entre los beneficios esperados de alguna operación y la inversión que se ha hecho.

**Relación beneficio-costos**

Se calcula dividiendo el valor presente de todo el flujo de beneficios de la alternativa con el valor presente del flujo de costos de la misma alternativa. La alternativa con mayor beneficio-costos se considerará rentable.

**TIR (Tasa Interna de Rendimiento o Tasa Interna de Retorno)**

Indicador relativo o tasa de interés a la cual el valor de VPN es cero, o sea, aquella que hace que el valor presente de los flujos de costos sea igual al valor presente de flujo de beneficios. Si el valor de la TIR es mayor que el costos de oportunidad del capital (TREMA), la alternativa será rentable, ya que se garantizan mayores ganancias.

Es el índice que indica el tiempo en el cual recuperaremos la inversión.

Es la ganancia anual que tiene un inversionista.

**Período de análisis**

Es el lapso de tiempo que está definido por la variabilidad probable de algunas variables importantes y por la materialización de los beneficios de la inversión.

**VPN o VAN (Valor Presente Neto o Valor Actual Neto).**

Indicador absoluto que refleja la diferencia que se obtiene al restar el valor presente del flujo de costos requeridos para la implantación de una alternativa, del valor presente de los beneficios producidos por la misma alternativa durante todo el período de análisis. Si el resultado de la diferencia es positivo, la alternativa será rentable.

**Valor anual equivalente**

Con este método todos los ingresos y gastos que ocurren durante un período se convierten en anualidad equivalente. Cuando esta anualidad es positiva, es recomendable aceptar el proyecto.

**Política de conservación**

Define como se van a aplicar en el tiempo las acciones de conservación.

**Sistema de gestión**

Es conjunto de procedimientos y herramientas que se ejecutan con el propósito de asistir a las organizaciones operadoras de carreteras para encontrar las alternativas técnica y económicamente óptimas para mantener el camino en las condiciones adecuadas a corto y largo plazo.

**HDM**

Es un modelo de simulación del comportamiento del ciclo de vida de las carreteras considerando todas las relaciones entre ésta, el ambiente y el tráfico dentro de una economía que determina la composición y la estructura de costos de las variables.

**Alternativa**

Es una solución única para una situación dada condormada por una serie de estándares, y quiere decir opción.

**Alternativa base**

Situación que existirá si el proyecto no se ejecuta. Situación sobre la cual se comparán otras situaciones

**Alternativas mutuamente excluyentes**

Son aquellos en que la selección de una alternativa automáticamente excluye la realización de otro alternativa.

**Alternativa sin proyecto**

Representa la común situación en la que se busca la reducción en el costo total de transporte. Es la alternativa que requiere el mínimo aporte de capital.

**Alternativa con proyecto**

Requiere la aportación de un mayor estándar de carretera (construcción nueva, reconstrucción, actualización o mejoras en el firme o a estándares geométricos).

**Equivalencia**

Diferentes sumas de dinero pueden tener el mismo valor económico en otro tiempo.

**Tramos homogéneos**

Es un tramo que tiene características similares, es decir, una capacidad estructural, geometría, tránsito e indicadores de estado uniformes en toda su longitud.

**Serie de calibración**

Define conjuntos de coeficientes de calibración para la variedad de tipos de pavimentos existentes.

**Estándar de trabajo**

Es un conjunto de acciones que se caracterizan por su diseño, criterios de intervención, costos unitarios, efectos sobre la condición del pavimento y cambios sufridos en el activo carretero. Existen tres tipos: de conservación, de mejora y de construcción de tramos nuevos.

**Estándar de conservación**

Definen los trabajos necesarios para mantener la red en un nivel establecido. Está conformado por una o más acciones. Existe una relación jerárquica estándar/acción.

**Estándar de mejora**

Definen los trabajos que deben llevarse a cabo cuando se alcanza un nivel de intervención predefinido.

**Tramo de nueva construcción**

Define los atributos de un tramo que se construirá y pondrá en operación en un año determinado.

**Criterios de intervención**

Definen una expresión lógica que determina cuando debe ejecutarse una acción de conservación o un estándar de mejora.

**Alternativa**

Es una combinación de estándares de conservación y/o de mejora que se aplican en un tramo.

**Acción**

Es el trabajo que se debe realizar para dar solución a los daños presentes en el pavimento.

**Matriz de red**

Permite definir una serie de tramos representativos utilizando parámetros para representar la red de carreteras.

**Estrategia**

Es con la cual se establecen los objetivos fundamentales.

**Táctica**

Es la maniobra requerida para lograr los objetivos planteados.

**Efectividad**

Es el grado en que un plan satisface los objetivos económicos.

**Costo inicial**

Es aquel necesario para iniciar una actividad.

**Costo de oportunidad**

Esta virtud al uso limitado de recursos. Es lo que se deja de ganar.

**Riesgo**

Es la probabilidad de perder o ganar dinero. Más riesgo, mayor utilidad se tendrá, esto e función del tiempo que se sosténgala inversión.

**Secciones homogéneas**

Es un conjunto de segmentos que pueden caracterizarse por valores únicos de los parámetros de diseño, operación, entorno y condición del pavimento, en otras palabras, son segmentos con características y comportamientos similares.

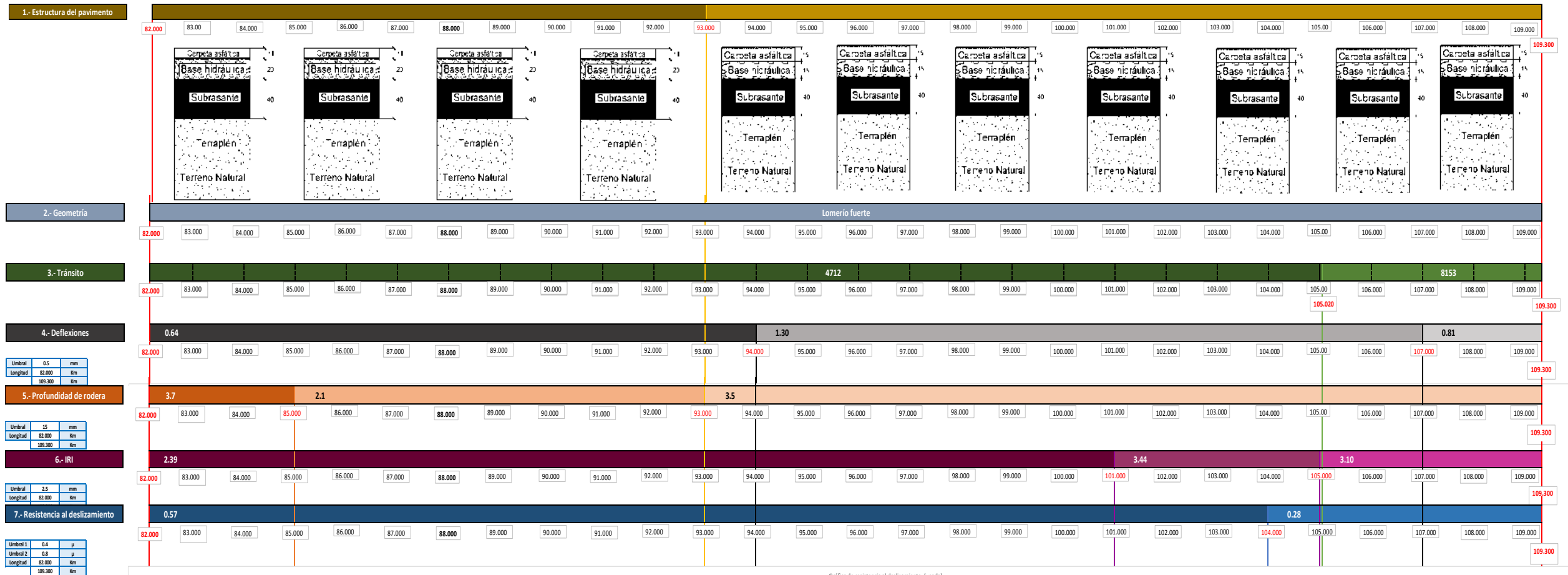
**Deterioro**

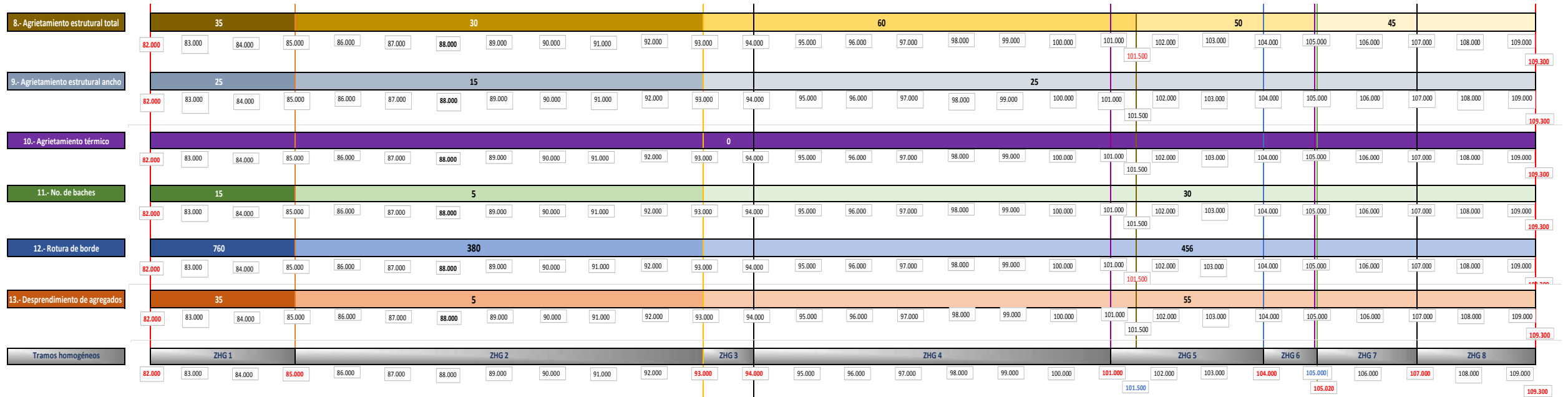
Es todo aquella condición que representa una pérdida de las características de servicio para las que fue diseñado el pavimento.

# Anexos

## Anexo 1. Secciones homogéneas de los tramos del CPCC región Zamora.

\*Larguillo y secciones homogéneas Zacapu- Carapan.

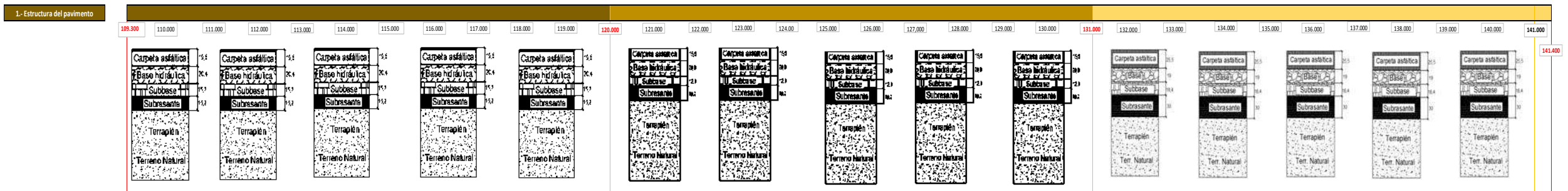




ZHG 1 de Km 82+000 al Km 85+000	ZHG 2 de Km 85+000 al Km 93+000	ZHG 3 de Km 93+000 al Km 94+000
CA: 11 cm BH: 20 cm SBR: 40 cm	CA: 11 cm BH: 20 cm SBR: 40 cm	CA: 15 cm BH: 18 cm SBR: 40 cm
Tipo de terreno: Lomerío fuerte	Tipo de terreno: Lomerío fuerte	Tipo de terreno: Lomerío fuerte
TDPA: 4712	TDPA: 4712	TDPA: 4712
Deflexión: 0.64 mm	Deflexión: 0.64 mm	Deflexión: 0.64 mm
Profundidad de rodera: 3.7 mm	Profundidad de rodera: 2.1 mm	Profundidad de rodera: 3.5 mm
IRI: 2.39 m/km	IRI: 2.39 m/km	IRI: 2.39 m/km
Resistencia al deslizamiento: 0.57 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.57 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.57 $\mu$
Agrietamiento estructural total: 35%	Agrietamiento estructural total: 30%	Agrietamiento estructural total: 60%
Agrietamiento estructural ancho: 25%	Agrietamiento estructural ancho: 15%	Agrietamiento estructural ancho: 25%
Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%
No. de baches: 15	No. de baches: 5	No. de baches: 30
Rotura de borde: 760 m <sup>2</sup> /km	Rotura de borde: 380 m <sup>2</sup> /km	Rotura de borde: 456 m <sup>2</sup> /km
Desprendimiento de agregados: 35%	Desprendimiento de agregados: 5%	Desprendimiento de agregados: 55%

ZHG 4 de Km 94+000 al Km 101+000	ZHG 5 de Km 101+000 al Km 104+000	ZHG 6 de Km 104+000 al Km 105+020	ZHG 7 de Km 105+020 al Km 107+000	ZHG 8 de Km 107+000 al Km 109+300
CA: 15 cm BH: 18 cm SBR: 40 cm	CA: 15 cm BH: 18 cm SBR: 40 cm	CA: 15 cm BH: 18 cm SBR: 40 cm	CA: 15 cm BH: 18 cm SBR: 40 cm	CA: 15 cm BH: 18 cm SBR: 40 cm
Tipo de terreno: Lomerío fuerte	Tipo de terreno: Lomerío fuerte	Tipo de terreno: Lomerío fuerte	Tipo de terreno: Lomerío fuerte	Tipo de terreno: Lomerío fuerte
TDPA: 4712	TDPA: 4712	TDPA: 4712	TDPA: 8153	TDPA: 8153
Deflexión: 1.30 mm	Deflexión: 1.30 mm	Deflexión: 1.30 mm	Deflexión: 1.30 mm	Deflexión: 0.81 mm
Profundidad de rodadura: 3.5 mm	Profundidad de rodadura: 3.5 mm	Profundidad de rodadura: 3.5 mm	Profundidad de rodadura: 3.5 mm	Profundidad de rodadura: 3.5 mm
IRI: 2.39 m/km	IRI: 3.44 m/km	IRI: 3.27 m/km	IRI: 3.1 m/km	IRI: 3.1 m/km
Resistencia al deslizamiento: 0.57 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.57 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.28 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.28 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.28 $\mu$
Agrietamiento estructural total: 60%	Agrietamiento estructural total: 55%	Agrietamiento estructural total: 47.5%	Agrietamiento estructural total: 45%	Agrietamiento estructural total: 45%
Agrietamiento estructural ancho: 25%	Agrietamiento estructural ancho: 25%	Agrietamiento estructural ancho: 25%	Agrietamiento estructural ancho: 25%	Agrietamiento estructural ancho: 25%
Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%
No. de baches: 30	No. de baches: 30	No. de baches: 30	No. de baches: 30	No. de baches: 30
Rotura de borde: 456 m2/km	Rotura de borde: 456 m2/km	Rotura de borde: 456 m2/km	Rotura de borde: 456 m2/km	Rotura de borde: 456 m2/km
Desprendimiento de agregados: 55%	Desprendimiento de agregados: 55%	Desprendimiento de agregados: 55%	Desprendimiento de agregados: 55%	Desprendimiento de agregados: 55%

\*Larguillo y secciones homogéneas Carapan-Zamora.

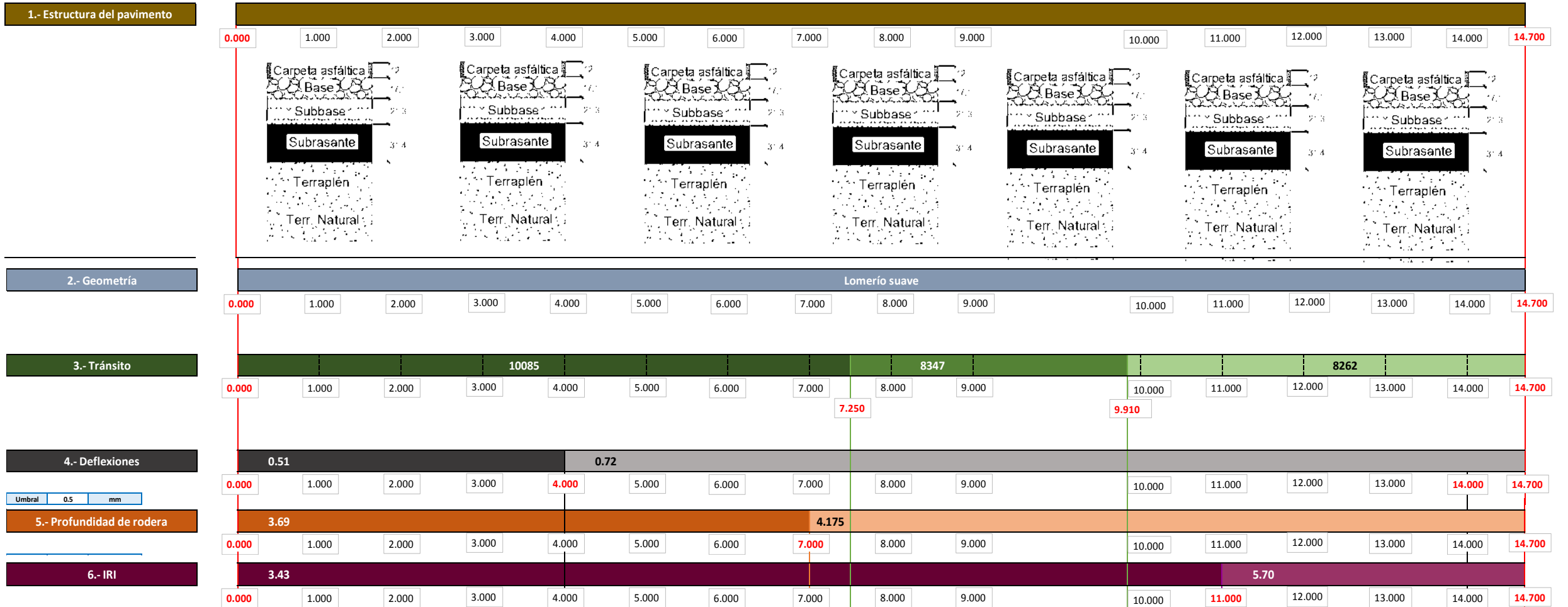


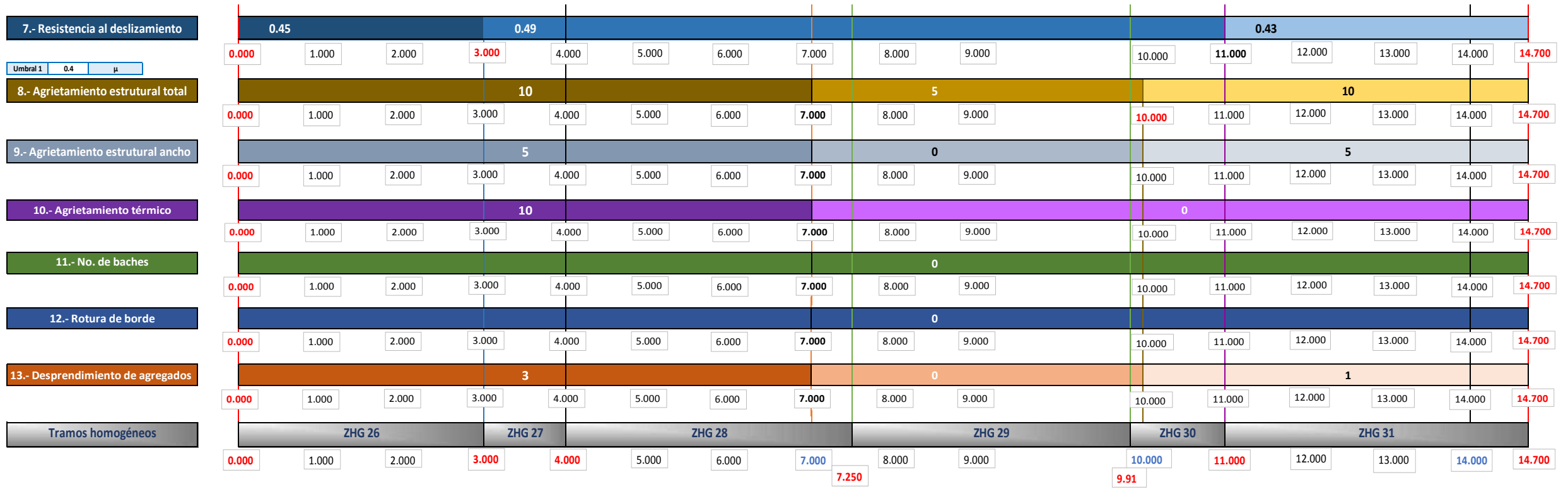


ZHG 9 de Km 109+300 al Km 111+000	ZHG 10 de Km 111+000 al Km 115+000	ZHG 11 de Km 115+000 al Km 117+000	ZHG 12 de Km 117+000 al Km 119+000	ZHG 13 de Km 119+000 al Km 120+000	ZHG 14 de Km 120+000 al Km 121+000	ZHG 15 de Km 121+000 al Km 123+500	ZHG 16 de Km 123+500 al Km 125+000
CA: 19.5 cm BH:20.4 cm SB: 15.2 cm SBR: 16.2 cm	CA: 19.5 cm BH:20.4 cm SB: 15.2 cm SBR: 16.2 cm	CA: 19.5 cm BH:20.4 cm SB: 15.2 cm SBR: 16.2 cm	CA: 19.5 cm BH:20.4 cm SB: 15.2 cm SBR: 16.2 cm	CA: 19.5 cm BH:20.4 cm SB: 15.2 cm SBR: 16.2 cm	CA: 15.5 cm BH: 20.8 cm SB: 12.1 cm	CA: 15.5 cm BH: 20.8 cm SB: 12.1 cm SBR: 19.7 cm	CA: 15.5 cm BH: 20.8 cm SB: 12.1 cm SBR:
Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave
TDPA: 8153	TDPA: 8153	TDPA: 10300	TDPA: 10300	TDPA: 10300	TDPA: 10300	TDPA: 10300	TDPA: 9794
Deflexión: 0.43 mm	Deflexión: 0.43 mm	Deflexión: 0.43 mm	Deflexión: 0.43 mm	Deflexión: 0.43 mm	Deflexión: 0.43 mm	Deflexión: 0.43 mm	Deflexión: 0.43 mm
Profundidad de rodera: 4.6 mm	Profundidad de rodera: 4.6 mm	Profundidad de rodera: 4.6 mm	Profundidad de rodera: 4.6 mm	Profundidad de rodera: 4.6 mm	Profundidad de rodera: 4.6 mm	Profundidad de rodera: 4.6 mm	Profundidad de rodera: 4.6 mm
IRI: 3.14 m/km	IRI: 3.14 m/km	IRI: 2.63 m/km	IRI: 2.63 m/km	IRI: 3.27 m/km	IRI: 3.27 m/km	IRI: 2.94 m/km	IRI: 2.94 m/km
Resistencia al deslizamiento: 0.53 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.42 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.42 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.52 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.52 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.4 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.4 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.4 $\mu$
Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%
Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%
Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%
No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0
Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km
Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0%

ZHG 17 de Km 125+000 al Km 128+000	ZHG 18 de Km 128+000 al Km 129+000	ZHG 19 de Km 129+000 al Km 130+000	ZHG 20 de Km 130+000 al Km 131+000	ZHG 21 de Km 131+000 al Km 133+000	ZHG 22 de Km 133+000 al Km 134+000	ZHG 23 de Km 134+000 al Km 136+000	ZHG 24 de Km 136+000 al Km 139+500	ZHG 25 de Km 139+500 al Km 141+400
CA: 15.5 cm BH: 20.8 cm SB: 12.1 cm SBR: 19.7 cm	CA: 15.5 cm BH: 20.8 cm SB: 12.1	CA: 15.5 cm BH: 20.8 cm SB: 12.1	CA: 15.5 cm BH: 20.8 cm SB: 12.1	CA: 25.5 cm B:19 cm SB: 18.4 cm SBR: 30 cm	CA: 25.5 cm B:19 cm SB: 18.4 cm	CA: 25.5 cm B:19 cm SB: 18.4 cm SBR: 30 cm	CA: 25.5 cm B:19 cm SB: 18.4 cm SBR: 30 cm	CA: 25.5 cm B:19 cm SB: 18.4 cm SBR: 30 cm
Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave
TDPA: 9794	TDPA: 9794	TDPA: 9794	TDPA: 9794	TDPA: 13251	TDPA: 16708	TDPA: 16708	TDPA: 16708	TDPA: 19994
Deflexión: 0.84 mm	Deflexión: 0.84 mm	Deflexión: 0.84 mm	Deflexión: 1.620 mm	Deflexión: 1.620 mm	Deflexión: 1.620 mm	Deflexión: 0.59 mm	Deflexión: 0.59 mm	Deflexión: 0.59 mm
Profundidad de rodera: 3.83 mm	Profundidad de rodera: 3.83 mm	Profundidad de rodera: 3.83 mm	Profundidad de rodera: 3.83 mm	Profundidad de rodera: 3.83 mm	Profundidad de rodera: 3.83 mm	Profundidad de rodera: 3.83 mm	Profundidad de rodera: 3.83 mm	Profundidad de rodera: 3.83 mm
IRI: 2.94 m/km	IRI: 3.53 m/km	IRI: 3.53 m/km	IRI: 3.53 m/km	IRI: 2.46 m/km	IRI: 2.46 m/km	IRI: 2.46 m/km	IRI: 2.99 m/km	IRI: 2.99 m/km
Resistencia al deslizamiento: 0.4 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.4 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.47 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.47 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.47 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.47 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.47 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.47 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.47 $\mu$
Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 5%	Agrietamiento estructural total: 15%	Agrietamiento estructural total: 15%	Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%
Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 0%	Agrietamiento estructural ancho: 10%	Agrietamiento estructural ancho: 10%	Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%
Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%
No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0
Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km
Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 3%	Desprendimiento de agregados: 3%	Desprendimiento de agregados: 3%	Desprendimiento de agregados: 1.5%

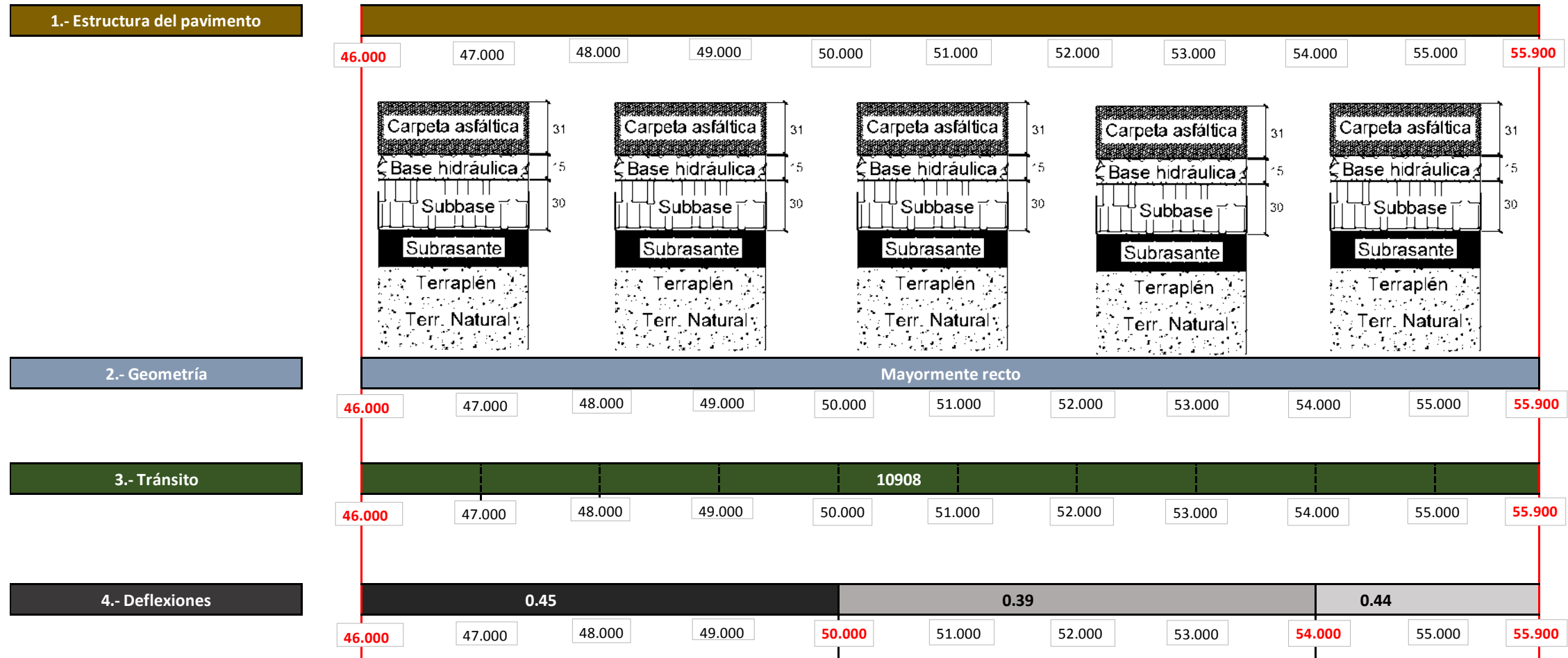
\*Larguillo y secciones homogéneas Libramiento Norte de Zamora.





ZHG 26 de Km 0+000 al Km 3+000	ZHG 27 de Km 3+000 al Km 4+000	ZHG 28 de Km 4+000 al Km 7+250	ZHG 29 de Km 7+500 al Km 9+910	ZHG 30 de Km 9+910 al Km 11+000	ZHG 31 de Km 11+000 al Km 14+700
Carpeta: 12 cm Base hidráulica: 17.1 cm Subbase: 21.3 cm Subrasante: 31.4 cm	Carpeta: 12 cm Base hidráulica: 17.1 cm Subbase: 21.3 cm Subrasante: 31.4 cm	Carpeta: 12 cm Base hidráulica: 17.1 cm Subbase: 21.3 cm Subrasante: 31.4 cm	Carpeta: 12 cm Base hidráulica: 17.1 cm Subbase: 21.3 cm Subrasante: 31.4 cm	Carpeta: 12 cm Base hidráulica: 17.1 cm Subbase: 21.3 cm Subrasante: 31.4 cm	Carpeta: 12 cm Base hidráulica: 17.1 cm Subbase: 21.3 cm Subrasante: 31.4 cm
Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave	Tipo de terreno: Lomerío suave
TDPA: 10085	TDPA: 10085	TDPA: 10085	TDPA: 8347	TDPA: 8262	TDPA: 8262
Deflexión: 0.51 mm	Deflexión: 0.51 mm	Deflexión: 0.72 mm	Deflexión: 0.72 mm	Deflexión: 0.72 mm	Deflexión: 0.72 mm
Profundidad de rodera: 3.69 mm	Profundidad de rodera: 3.69 mm	Profundidad de rodera: 3.93 mm	Profundidad de rodera: 4.175 mm	Profundidad de rodera: 4.175 mm	Profundidad de rodera: 4.175 mm
IRI: 3.43m/km	IRI: 3.43m/km	IRI: 3.43m/km	IRI: 3.43m/km	IRI: 3.43m/km	IRI: 5.70 m/km
Resistencia al deslizamiento: 0.45 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.49 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.49 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.49 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.49 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.43 $\mu$
Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 10%	Agrietamiento estructural total: 7.5%	Agrietamiento estructural total: 5%	Agrietamiento estructural total: 7.5%	Agrietamiento estructural total: 10%
Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%	Agrietamiento estructural ancho: 2.5%	Agrietamiento estructural ancho: 0%	Agrietamiento estructural ancho: 2.5%	Agrietamiento estructural ancho: 5%
Agrietamiento térmico: 10%	Agrietamiento térmico: 10%	Agrietamiento térmico: 5%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%
No. de baches: 0%	No. de baches: 0%	No. de baches: 0%	No. de baches: 0%	No. de baches: 0%	No. de baches: 0%
Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km	Rotura de borde: 0 m2/km
Desprendimiento de agregados: 3%	Desprendimiento de agregados: 3%	Desprendimiento de agregados: 1.5%	Desprendimiento de agregados: 0%	Desprendimiento de agregados: 0.5%	Desprendimiento de agregados: 1%

\*Larguillo y secciones homogéneas Vista Hermosa- Briseñas.







ZHG 32 de Km 46+000 al Km 47+000	ZHG 33 de Km 47+000 al Km 49+000	ZHG 34 de Km 49+000 al Km 50+000	ZHG 35 de Km 50+000 al Km 52+000	ZHG 36 de Km 52+000 al Km 54+000	ZHG 37 de Km 54+000 al Km 55+900
Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm	Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm	Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm	Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm	Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm	Carpeta: 31 cm Base hidráulica: 15 cm Subbase: 30 cm Subrasante: 0 cm
Tipo de terreno: Mayormente plano	Tipo de terreno: Mayormente plano	Tipo de terreno: Mayormente plano	Tipo de terreno: Mayormente plano	Tipo de terreno: Mayormente plano	Tipo de terreno: Mayormente plano
TDPA: 10908	TDPA: 10908	TDPA: 10908	TDPA: 10908	TDPA: 10908	TDPA: 10908
Deflexión: 0.45 mm	Deflexión: 0.45 mm	Deflexión: 0.45 mm	Deflexión: 0.39 mm	Deflexión: 0.39 mm	Deflexión: 0.44 mm
Profundidad de rodera: 3.9 mm	Profundidad de rodera: 4.2 mm	Profundidad de rodera: 3.8 mm	Profundidad de rodera: 3.8 mm	Profundidad de rodera: 3.8 mm	Profundidad de rodera: 4.05 mm
IRI: 3.87 m/km	IRI: 3.87 m/km	IRI: 6.69 m/km	IRI: 6.69 m/km	IRI: 3.55 m/km	IRI: 3.55 m/km
Resistencia al deslizamiento: 0.43 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.43 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.43 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.49 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.49 $\mu$	Resistencia al deslizamiento: 0.46 $\mu$
Agrietamiento estructural total: 15%	Agrietamiento estructural total: 15%	Agrietamiento estructural total: 15%	Agrietamiento estructural total: 15%	Agrietamiento estructural total: 15%	Agrietamiento estructural total: 12.5%
Agrietamiento estructural ancho: 10%	Agrietamiento estructural ancho: 10%	Agrietamiento estructural ancho: 10%	Agrietamiento estructural ancho: 10%	Agrietamiento estructural ancho: 10%	Agrietamiento estructural ancho: 7.5%
Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%	Agrietamiento térmico: 0%
No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0	No. de baches: 0
Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km	Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km	Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km	Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km	Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km	Rotura de borde: 0 m <sup>2</sup> /km
Desprendimiento de agregados: 5%	Desprendimiento de agregados: 5%	Desprendimiento de agregados: 5%	Desprendimiento de agregados: 5%	Desprendimiento de agregados: 5%	Desprendimiento de agregados: 2.5%

**Anexo 2.** Nomenclatura y significados de las siglas de los tipos de pavimentos y materiales que maneja el HDM-4.

Categoría de superficie	Clase de superficie	Tipo de pavimento	Tipo de superficie	Material de la superficie	Tipo de base	Material de base
Pavimentada	Asfalto	AMGB	AM	AC, HRA,	GB	NG, CRS, WBN, etc.
		AMAB		RAC, PA,	AB	AB, Eb, etc.
		AMSB		CM, etc.	SB	CS, LS, etc
		AMAP			AP	TNA, FDA, etc.
		AMRB			RB	JUC, RBC, CUC, etc.
		STGB	ST	SBSD, PM,	GB	NG, CRS, WBN, etc.
		STAB		DBSD, SL,	AB	AB, Eb, etc.
		STSB		CAPE, etc.	SB	CS, LS, etc
		STAP			AP	TNA, FDA, etc.
		STRB			RB	JUC, RBC, CUC, etc.

Tipo de superficie	
AM	Mezcla asfáltica
ST	Superficie tratada

FUENTE: Manual de HDM-4 Volumen 4.

Material de superficie	
AC	Concreto asfáltico
HRA	Mezcla densa en caliente
RAC	Concreto asfáltico con caucho
PA	Asfalto poroso
CM	Mezclas en frío (Mezcla de asfalto sueva)
SBSD	Capa de un riego de sello
PM	Mezcla abierta
DBSD	Doble capa de riego de sello
SL	Slurry seal
CAPE	Cape seal


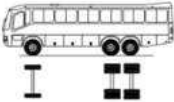
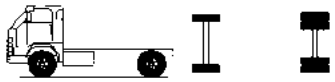

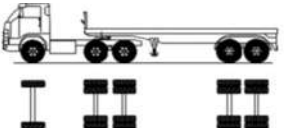
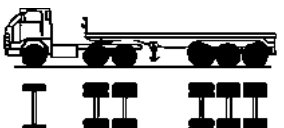

Tipo de base	
GB	Base granular
AB	Base asfáltica
SB	Base estabilizada
AP	Pavimento asfáltico

FUENTE: Manual de HDM-4 Volumen 4.

Materiales de base	
NG	Grava
CRS	Roca triturada
WBM	Capa rompedora
EB	Base emulsificada
CS	Cemento para estabilizar
LS	Cal para estabilizar
TNA	superficie delgada de asfalto
FDA	Concreto asfaltico recuperado
JUC	Concreto junteado sin confinamiento
RBC	Concreto reforzado con aconfinamiento
CUC	Concreto continuo sin confinamiento

FUENTE: Manual de HDM-4 Volumen 4.

**Anexo 3.** Tablas de pesos máximos legales y factores de equivalencia de carga para pavimentos flexibles.

Vehículo	Configuración	C o V	Peso máximo (Ton)				Peso bruto máximo IMT (Ton)	
			Eje delantero	Conjunto de ejes				
				1°	2°	3°		4°
A		C	1	1	-----	-----	2.00	
		V	0.7	0.98	-----	-----	1.68	
B3		C	5.5	14.5	-----	-----	20.00	
		V	3.5	10.5	-----	-----	13.50	
C2		C	5.5	9	-----	-----	14.50	
		V	3	2.5	-----	-----	5.50	
C3		C	5.5	14.5	-----	-----	20.00	
		V	3.2	3.74	-----	-----	6.94	
T3-S2		C	5.5	14.5	14.5	-----	34.50	
		V	5.81	5.81	5.81	-----	17.43	
T3-S3		C	5.5	14.5	20	-----	40.00	
		V	5.5	5.5	8.44	-----	19.44	
T3-S2-R4		C	5.5	14.5	14.5	14.5	63.50	
		V	5.88	5.88	5.88	5.88	29.44	

FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte y norma oficial de pesos y dimensiones máximas.

Carga total por eje o conjunto de ejes		Factores de equivalencia de carga		
Kn	lbf	Eje sencillo	Ejes dobles	Ejes triples
4.45	1000	0.00002		
8.9	2000	0.00018		
17.8	4000	0.00209	0.0003	
26.7	6000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12000	0.189	0.014	0.003
62.3	14000	0.36	0.027	0.006
71.2	16000	0.623	0.047	0.011
80	18000	1	0.077	0.017
89	20000	1.51	0.121	0.027
97.9	22000	2.18	0.18	0.04
106.8	24000	3.03	0.26	0.057
115.6	26000	4.09	0.364	0.08
124.5	28000	5.39	0.495	0.109
133.4	30000	6.97	0.658	0.145
142.3	32000	8.88	0.857	0.191
151.2	34000	11.18	1.095	0.246
160.1	36000	13.93	1.38	0.313

169.0	38000	17.2	1.7	0.393
178.0	40000	21.08	2.08	0.487
187.0	42000	25.64	2.51	0.597
195.7	44000	31	3	0.723
204.5	46000	37.24	3.55	0.868
213.5	48000	44.5	4.17	1.033
222.4	50000	52.88	4.86	1.22
231.3	52000		5.63	1.43
240.2	54000		6.47	1.66
249.0	56000		7.41	1.91
258.0	58000		8.45	2.2
267.0	60000		9.59	2.51
275.8	62000		10.84	2.85
284.5	64000		12.22	3.22
293.5	66000		13.73	3.62
302.5	68000		15.38	4.05
311.5	70000		17.19	4.52
320.0	72000		19.16	5.03
329.0	74000		21.32	5.57
338.0	76000		23.66	6.15
347.0	78000		26.22	6.78
356.0	80000		29	7.45
364.7	82000		32	8.2
373.6	84000		35.3	8.9
382.5	86000		38.8	9.8
391.4	88000		42.6	10.6
400.3	90000		46.8	11.6

FUENTE: Instituto Mexicano del Transporte

**Anexo 4.** Campos con claves numéricas y su respectivo significado.

Campo en HDM-4	Número	Significado
SURF_CLASS (Clase de superficie)	0	Asfáltico
	1	No pavimentada
	2	Concreto
DIRECTION (Dirección del flujo)	0	Un solo sentido, ascendente
	1	Un solo sentido, descendente
	2	Doble sentido
SNP_DERIVE (Procedimiento para obtener el SNP)	0	SNP especificado por el usuario
	1	Coefficientes de capas
	2	Viga Benkelman
	3	Deflectómetro de impacto
DRAIN_COND (condición del drenaje)	0	Excelente
	1	Bueno
	2	Regular
	3	Mala
	4	Muy mala
DRAIN_TYPE (Tipo de drenaje)	0	Alineado y continuo
	1	Alineado con la superficie
	2	En "V" revestido
	3	En "V" no revestido
	4	Poco profundo, revestido
	5	Poco profundo, no revestido
	6	Requerido pero ausente
	7	Sin efectos de drenaje

**FUENTE:** Instituto Mexicano del Transporte.