



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
División de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Civil

**Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías
Terrestres**

Tesis profesional:

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS INTERVENCIONES DE LA
ETAPA DE PUESTA A PUNTO EN TRAMOS CARRETEROS QUE
FORMAN PARTE DEL PROGRAMA DE CONSERVACIÓN
MULTIANUAL DE CARRETERAS DE MICHOACÁN”**

Para obtener el título de:


**Maestro en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías
Terrestres**

Presenta:

Ing. Víctor Manuel Báez Ángel

Asesor de tesis:

Dr. Jorge Alarcón Ibarra

 **Maestría en Infraestructura
del Transporte**
en la Rama de las Vías Terrestres

Morelia, Michoacán, febrero 2025

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	II
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
DEDICATORIA.....	XIII
AGRADECIMIENTOS.....	XIV
I. RESUMEN.....	XVI
II. ABSTRACT.....	XVII
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	5
1.3 Justificación.....	6
1.4 Objetivos.....	6
1.5 Hipótesis.....	8
CAPÍTULO II.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Conservación de carreteras.....	9
2.1.1 Objetivos de la conservación de carreteras.....	9
2.1.2 Costos relacionados con el autotransporte.....	10
2.1.3 Factores que contribuyen al deterioro de los pavimentos.....	11
2.1.4 Tipos de mantenimiento y conservación de carreteras.....	12
2.1.5 Etapas para la definición de la conservación.....	13
2.2 Etapa de Puesta a Punto.....	14
2.2.1 Definición de la etapa de Puesta a Punto.....	14
2.2.2 Objetivos de la etapa de Puesta a Punto.....	15
2.2.3 Beneficios de la etapa de Puesta a Punto.....	15
2.3 Parámetros de desempeño.....	16
2.3.1 Parámetros de evaluación de la condición superficial.....	16
2.3.2 Parámetros de evaluación de la condición estructural.....	19
2.4 Esquemas de contratación.....	20
2.4.1 Esquemas de Contratación de Obra Pública en México.....	20
2.4.2 Contratos tradicionales vs contratos basados en el desempeño.....	24
2.4.3 Multianualidad en la Obra Pública en Infraestructura Carretera.....	25
2.4.4 Multianualidad en la Obra Pública para infraestructura carretera en el Estado de Michoacán.....	27
2.5 Sistemas de gestión de activos.....	30

2.5.1	Sistema de gestión de activos para pavimentos.....	30
2.5.2	Sistema de gestión utilizados en México	31
2.5.3	Aspectos relevantes del HDM-4 en la investigación	34
CAPÍTULO III.....		35
3. ESTADO DEL ARTE.....		35
3.1 Contexto Histórico y Actual		35
3.1.1	Implementación de la Contratación Multianual	36
3.1.2	Resultados y Evaluación de la Efectividad	36
3.1.3	Evolución del Estado Físico de la Red Federal de Carreteras Libre de Peaje (1994-2013-2018)	37
3.2 Estudios Relevantes		38
CAPÍTULO IV		41
4. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO		41
4.1 Diseño de la investigación		42
4.2 Definición de variables		42
4.3 Población y muestra		43
4.3.1	Ubicación de los activos viales que forman parte del grupo 5	43
4.4 Recopilación de datos		50
4.4.1	Evaluación y diagnóstico	53
4.4.2	Estudio de tránsito	69
4.4.3	Medición de Deflexiones	75
4.4.4	Medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI)	99
4.4.5	Propuestas de conservación del HDM-4.....	108
4.4.6	Puesta a Punto de Grupo Centro	147
CAPÍTULO V		148
5. ANÁLISIS DE DATOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		148
5.1 Análisis de datos		148
5.1.1	Análisis de tránsito	148
5.1.2	Análisis de deflexiones.....	178
5.1.3	Análisis de IRI	192
5.1.1	Análisis de costos de Operación Vehicular	200
5.2 Interpretación de resultados.....		218
5.2.1	Evaluación, diagnóstico y propuestas de solución con el HDM-4	218
5.2.2	Resultados del Análisis de Tránsito	219
5.2.3	Resultados del Análisis de Deflexiones	220
5.2.4	Resultados del Análisis de IRI.....	221
5.2.5	Resultados del Análisis de Costos de Operación	221
CAPÍTULO VI		224
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		224
6.1 Revisión del estado del arte y marco teórico.....		224

6.2	Evaluación del estado físico inicial	224
6.3	Análisis de tránsito	225
6.4	Costos de operación vehicular	225
6.5	Costos de infraestructura y financiamiento	225
6.6	Áreas de oportunidad	225
6.7	Recomendaciones	226
6.8	Conclusión General	226
7.	REFERENCIAS	228

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Índice Global de Competitividad (World Economic Forum, 2019).....	1
Ilustración 2. Red Nacional de Caminos de México 2024 (Instituto Mexicano del Transporte, 2024)	2
Ilustración 3. Histórico de inversiones en conservación México (SICT, 2024).....	3
Ilustración 4. Costos asociados a la conservación de la infraestructura vial (Dirección General de Conservación de Carreteras, 2011).....	4
Ilustración 5. Esquema de una rodera.....	17
Ilustración 6. Rangos representativos de deflexiones a 700 Kilopascales y 20°C. (N·CSV·CAR·1·03·010/17).	20
Ilustración 7. Rol de participantes en el esquema multianual del Estado de Michoacán para infraestructura carretera (Villegas García, 2024).	27
Ilustración 8. Regiones que forman parte de los paquetes carreteros.	27
Ilustración 9. Auscultación y evaluación de pavimentos (López Bustamante, 2016).	29
Ilustración 10. Beneficios del programa de Obra Pública Multianual 2023 en Michoacán (SCOP, 2024).	30
Ilustración 11. Evolución del Estado Físico de la Red Federal de Carreteras Libre de Peaje (1994-2013-2018) (Soto Espitia, 2023).	37
Ilustración 12. Evolución del Estado Físico de la Red Federal (2012–2018) (Soto Espitia, 2023) ..	37
Ilustración 13. Esquema metodológico de la investigación (Elaboración propia).	41
Ilustración 14. Definición de variables (Elaboración propia).....	43
Ilustración 15. Ubicación de los activos viales que forman parte del Grupo 5, Zona Centro (Google Earth Pro, 2024).....	44
Ilustración 16. Microlocalización - Circuito Periférico de Morelia (Google Earth Pro, 2024).	45
Ilustración 17. Microlocalización – Ramal Camelinas (Google Earth Pro, 2024)	46
Ilustración 18. Microlocalización – Zacapu - Villachuato (Google Earth Pro, 2024).....	47
Ilustración 19. Microlocalización – Puruándiro - Pastor Ortiz (Google Earth Pro, 2024).....	47
Ilustración 20. Microlocalización - Erongarícuaro - La Zaramora - Franco Reyes (Google Earth Pro, 2024)	48
Ilustración 21. Microlocalización - E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta (Google Earth Pro, 2024)).....	49
Ilustración 22. Microlocalización - Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo (Google Earth Pro, 2024)	50
Ilustración 23. Ciclo de trabajos en la gestión de pavimentos (Moreno Fierros , 2013).	53
Ilustración 24. Interacción de los modelos de deterioro (Moreno Fierros , 2013).	55
Ilustración 25. Agrietamiento longitudinal km 1+040 (PEPSA, 2023).	55
Ilustración 26. Desprendimientos, baches y agrietamientos en km 7+620 (PEPSA, 2023).	56
Ilustración 27. Baches, baches reparados, grietas, deformaciones y desprendimientos en km 11+220 (PEPSA, 2023).	56
Ilustración 28. Agrietamiento (piel de cocodrilo), baches reparados, desprendimientos y deformaciones en km 22+740 (PEPSA, 2023).	57
Ilustración 29. No se aprecian deterioros, km 101+420 (PEPSA, 2023).	57
Ilustración 30. No se aprecian deterioros, km 102+230 (PEPSA, 2023).	58
Ilustración 31. Ligeras deformaciones verticales y comienzos de agrietamientos en Km 103+620.	58
Ilustración 32. Baches y agrietamientos longitudinales en km 104+300.	59
Ilustración 33. Baches, agrietamientos longitudinales, transversales, en forma de mapa, desprendimientos y deformaciones en km 1+700.	59
Ilustración 34. Agrietamientos longitudinales, baches, baches reparados, intemperismo y desprendimientos en km 14+020.	60
Ilustración 35. Agrietamientos (piel de cocodrilo y en bloque), baches y desprendimientos en km 30+000.	60
Ilustración 36. Agrietamientos (piel de cocodrilo y en bloque), desprendimientos y baches en km 36+630.	61

<i>Ilustración 37. Agrietamiento longitudinal, de piel de cocodrilo, deformación longitudinal y desprendimientos en km 1+520.</i>	61
<i>Ilustración 38. Agrietamiento y deformación longitudinal, agrietamiento de “piel de cocodrilo” en km 9+540.</i>	62
<i>Ilustración 39. Agrietamientos y deformaciones longitudinales, agrietamientos de “piel de cocodrilo” en km 20+030.</i>	62
<i>Ilustración 40. Deformaciones longitudinales, agrietamientos en bloque, longitudinales y transversales en km 32+800.</i>	63
<i>Ilustración 41. Deformaciones longitudinales, baches y agrietamientos en km 14+000.</i>	63
<i>Ilustración 42. Baches reparados, agrietamientos y deformaciones en km 18+060.</i>	64
<i>Ilustración 43. Agrietamientos longitudinales y de “piel de cocodrilo”, deformaciones y baches en km 23+040.</i>	64
<i>Ilustración 44. Baches, desprendimientos, agrietamientos en bloque en km 26+040.</i>	65
<i>Ilustración 45. Baches reparados, desprendimientos, deformaciones transversales y longitudinales en km 1+100 (PEPSA, 2023).</i>	65
<i>Ilustración 46. Baches reparados, desprendimientos, deformaciones verticales y longitudinales en km 2+200 (PEPSA, 2023).</i>	66
<i>Ilustración 47. Pulimento de agregados, intemperismo, deformaciones y baches reparados en km 4+800 (PEPSA, 2023).</i>	66
<i>Ilustración 48. Baches, desprendimiento de agregados, grietas en bloque y deformaciones en km 9+400 (PEPSA, 2023).</i>	67
<i>Ilustración 49. Desprendimiento de agregados, grietas y deformaciones en km 3+500 (PEPSA, 2023).</i>	67
<i>Ilustración 50. Deformaciones, baches, agrietamiento y desprendimientos en km 17+800 (PEPSA, 2023).</i>	68
<i>Ilustración 51. Intemperismo, desprendimiento de agregados y deformaciones en km 20+000 (PEPSA, 2023).</i>	68
<i>Ilustración 52. Baches, deformaciones y desprendimiento de agregados en km 36+000 (PEPSA, 2023).</i>	69
<i>Ilustración 53. Colocación de bandas aforadoras de tránsito en estación 1: km 9+000 (PEPSA, 2023).</i>	73
<i>Ilustración 54. Geometría de la zona de proyecto (PEPSA, 2023).</i>	74
<i>Ilustración 55. Esquema de una cuenca de deformaciones generada a través de un pulso de carga dinámica (N.CSV.CAR.1.03.010/17, 2017).</i>	75
<i>Ilustración 56. Deflectómetro de Impacto (SOINVITSA, 2023).</i>	76
<i>Ilustración 57. Modelo del “Cuarto de Carro” para obtener el Índice Internacional de Irregularidad (IRI) (IMT, 2019).</i>	99
<i>Ilustración 58. Escala de valores de IRI y las características de los pavimentos descrita por el Banco Mundial (IMT P.T. No. 756, 2023).</i>	100
<i>Ilustración 59. Perfilómetro inercial (SOINVITSA, 2023).</i>	100
<i>Ilustración 60. Metodología de Análisis de HDM-4 (R. Solorio, 2012).</i>	108
<i>Ilustración 61. Indicadores de rentabilidad de las alternativas del tramo 1</i>	123
<i>Ilustración 62. Evolución del IRI para el tramo 1 del km 0+000 al km 4+000.</i>	123
<i>Ilustración 63. Evolución del IRI para el tramo 2 del km 0+700 al km 10+700.</i>	126
<i>Ilustración 64. Indicadores de rentabilidad de las alternativas del tramo 1.</i>	126
<i>Ilustración 65. Evolución del IRI para el tramo 1 del km 0+000 al km 3+000.</i>	129
<i>Ilustración 66. Gráfica de aforo semanal realizado. Circuito Periférico de Morelia - Estación 1, km 4+300.</i>	151
<i>Ilustración 67. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Salamanca, ubicada en el km 2+700.</i>	152
<i>Ilustración 68. Gráfica de aforo semanal realizado. Circuito Periférico de Morelia - Estación 2, km 12+300.</i>	154

<i>Ilustración 69. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Pátzcuaro, ubicada en el km 3+000.....</i>	<i>155</i>
<i>Ilustración 70. Gráfica de aforo semanal realizado. Circuito Periférico de Morelia - Estación 3, km 20+700.</i>	<i>157</i>
<i>Ilustración 71. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Jiquilpan, ubicada en el km 3+100.....</i>	<i>158</i>
<i>Ilustración 72. Gráfica de aforo semanal realizado. Ramal Camelinas, Estación 1: km 4+500.</i>	<i>161</i>
<i>Ilustración 73. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Toluca - Morelia, ubicada en el km 238+600.</i>	<i>162</i>
<i>Ilustración 74. RLS con datos de TDPA promedio de las estaciones de conteo de la carretera Zacapu – Villachuato.....</i>	<i>165</i>
<i>Ilustración 75. Gráfica de aforo semanal realizado. Puruándiro - Pastor Ortiz, Estación 1: km 4+000.</i>	<i>167</i>
<i>Ilustración 76. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Cuitzeo - Zináparo, ubicada en el km 61+000.....</i>	<i>168</i>
<i>Ilustración 77. Gráfica de aforo semanal realizado. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes, Estación 1: km 11+000.....</i>	<i>170</i>
<i>Ilustración 78. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Pátzcuaro - Chupícuaro, ubicada en el km 17+000.</i>	<i>171</i>
<i>Ilustración 79. Gráfica de aforo semanal realizado. E.C. (Morelia - Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta, Estación 1: km 9+000.....</i>	<i>173</i>
<i>Ilustración 80. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia - Pátzcuaro, ubicada en el km 3+000.....</i>	<i>174</i>
<i>Ilustración 81. RLS con datos de TDPA promedio de las estaciones de conteo de la carretera Cuitzeo – Zináparo.</i>	<i>177</i>
<i>Ilustración 82. Representación gráfica de la condición estructural que presentan los tramos en estudio.....</i>	<i>179</i>
<i>Ilustración 83. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Circuito Periférico de Morelia.</i>	<i>180</i>
<i>Ilustración 84. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Ramal Camelinas.....</i>	<i>181</i>
<i>Ilustración 85. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Zacapu - Villachuato.</i>	<i>182</i>
<i>Ilustración 86. Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento, Zacapu – Villachuato.....</i>	<i>183</i>
<i>Ilustración 87. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Puruándiro - Pastor Ortiz.</i>	<i>184</i>
<i>Ilustración 88. Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento, Puruándiro - Pastor Ortiz.</i>	<i>185</i>
<i>Ilustración 89. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes.</i>	<i>186</i>
<i>Ilustración 90. Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento, Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes.</i>	<i>187</i>
<i>Ilustración 91. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.</i>	<i>188</i>
<i>Ilustración 92. Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento, E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.</i>	<i>189</i>
<i>Ilustración 93. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo.</i>	<i>190</i>
<i>Ilustración 94. Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo.</i>	<i>191</i>
<i>Ilustración 95. Representación gráfica del estado físico de los tramos evaluados.</i>	<i>192</i>
<i>Ilustración 96. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera del Circuito Periférico de Morelia.....</i>	<i>193</i>
<i>Ilustración 97. Porcentajes del estado físico del tramo, Circuito Periférico de Morelia.....</i>	<i>193</i>
<i>Ilustración 98. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera del Ramal Camelinas. ..</i>	<i>194</i>
<i>Ilustración 99. Porcentajes del estado físico del tramo, Ramal Camelinas.</i>	<i>194</i>
<i>Ilustración 100. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera Zacapu – Villachuato. .</i>	<i>195</i>

<i>Ilustración 101. Porcentajes del estado físico del tramo, Zacapu – Villachuato.....</i>	<i>195</i>
<i>Ilustración 102. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera Puruándiro - Pastor Ortiz.</i>	<i>196</i>
<i>Ilustración 103. Porcentajes del estado físico del tramo, Puruándiro - Pastor Ortiz.</i>	<i>196</i>
<i>Ilustración 104. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes.</i>	<i>197</i>
<i>Ilustración 105. Porcentajes del estado físico del tramo, Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes.</i>	<i>197</i>
<i>Ilustración 106. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.</i>	<i>198</i>
<i>Ilustración 107. Porcentajes del estado físico del tramo, E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.....</i>	<i>198</i>
<i>Ilustración 108. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.</i>	<i>199</i>
<i>Ilustración 109. Porcentajes del estado físico del tramo, Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.</i>	<i>199</i>
<i>Ilustración 110. Metodología de análisis de costos de operación vehicular, elaboración propia. ...</i>	<i>202</i>
<i>Ilustración 111. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, CPM.....</i>	<i>204</i>
<i>Ilustración 112. Relación de inversión y beneficios, Circuito Periférico de Morelia.</i>	<i>205</i>
<i>Ilustración 113. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, Ramal Camelinas.</i>	<i>206</i>
<i>Ilustración 114. Relación de inversión y beneficios, Ramal Camelinas.....</i>	<i>207</i>
<i>Ilustración 115. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, Zacapu – Villachuato.</i>	<i>208</i>
<i>Ilustración 116. Relación de inversión y beneficios, Zacapu – Villachuato.</i>	<i>209</i>
<i>Ilustración 117. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, Puruándiro – Pastor Ortiz.</i>	<i>210</i>
<i>Ilustración 118. Relación de inversión y beneficios, Puruándiro – Pastor Ortiz.</i>	<i>211</i>
<i>Ilustración 119. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, Erongarícuaro – La Zarzamora – Franco Reyes.</i>	<i>212</i>
<i>Ilustración 120. Relación de inversión y beneficios, Erongarícuaro – La Zarzamora – Franco Reyes.</i>	<i>213</i>
<i>Ilustración 121. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, (Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.</i>	<i>214</i>
<i>Ilustración 122. Relación de inversión y beneficios, (Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta....</i>	<i>215</i>
<i>Ilustración 123. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.</i>	<i>216</i>
<i>Ilustración 124. Relación de inversión y beneficios, Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.....</i>	<i>217</i>
<i>Ilustración 125. Comparativa de Costos y Ahorros por Tramo Carretero.....</i>	<i>222</i>
<i>Ilustración 126. Relación Beneficio - Costo (B/C) por tramo</i>	<i>223</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estado físico del pavimento en función del IRI según el tipo de carretera	17
Tabla 2. Intervalos de Profundidad de Roderas para la clasificación de los tramos (N·CSV·CAR·1·03·009/16).	17
Tabla 3. Condición superficial de la capa de rodadura del pavimento en función del valor del CF según el tipo de carretera (N·CSV·CAR·1·03·007/20).	18
Tabla 4. Clasificación de la condición superficial de la capa de rodadura en función de la PMTE (N·CSV·CAR·1·03·006/20)	19
Tabla 5. Algunos esquemas de contratación de obra pública en México.....	21
Tabla 6. Características de los principales esquemas de contratación de obra pública en México (Cal y Mayor, 2023) (Soto Espitia, 2023).....	22
Tabla 7. Activos que forman parte de los paquetes carreteros del programa de conservación multianual del Estado de Michoacán (SCOP, 2024).....	28
Tabla 8. Revisión del Estado del Arte (Elaboración propia).	40
Tabla 9. Activos viales que forman parte del Grupo 5, Zona Centro (SCOP, 2024).	43
Tabla 10. Licitaciones para la contratación de Obra Pública bajo el esquema Multianual (SCOP, 2024).	51
Tabla 11. Trabajos a ejecutar (PEPSA, 2023).	52
Tabla 12. Principales fallas o deterioros en pavimentos flexibles (Guía de Procedimientos y Técnicas para la Conservación de Carreteras en México, 2014).	54
Tabla 13. Aforo vehicular, Circuito Periférico de Morelia, Estación 1: km 4+300 (PEPSA, 2023) ...	70
Tabla 14. Aforo vehicular, Circuito Periférico de Morelia, Estación 2: km 12+300 (PEPSA, 2023) .	70
Tabla 15. Aforo vehicular, Circuito Periférico de Morelia, Estación 3: km 20+700 (PEPSA, 2023) .	71
Tabla 16. Aforo vehicular, Ramal Camelinas, Estación 1: km 4+500 (PEPSA, 2023)	71
Tabla 17. Estaciones, Zacapu - Villachuato, (Datos Viales, 2024).....	72
Tabla 18. Aforo vehicular, Puruándiro - Pastor Ortiz, Estación 1: km 4+000 (PEPSA, 2023).....	72
Tabla 19. Aforo vehicular, Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes, Estación 1: km 11+000 (PEPSA, 2023)	73
Tabla 20. Aforo Vehicular E.C. (Morelia - Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta, Estación 1: km 9+000 (PEPSA, 2023).	74
Tabla 21. Estaciones, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo, (Datos Viales, 2024).....	75
Tabla 22. Deflexiones medidas - Circuito Periférico de Morelia (PEPSA, 2023)	77
Tabla 23. Deflexiones corregidas - Circuito Periférico de Morelia (PEPSA, 2023)	78
Tabla 24. Deflexiones medidas – Ramal Camelinas (PEPSA, 2023).....	79
Tabla 25. Deflexiones corregidas – Ramal Camelinas (PEPSA, 2023)	79
Tabla 26. Deflexiones medidas – Zacapu-Villachuato (PEPSA, 2023)	79
Tabla 27. Deflexiones corregidas – Zacapu-Villachuato (PEPSA, 2023).....	81
Tabla 28. Deflexiones medidas – Puruándiro-Pastor Ortiz (PEPSA, 2023)	83
Tabla 29. Deflexiones corregidas – Puruándiro-Pastor Ortiz (PEPSA, 2023)	84
Tabla 30. Deflexiones medidas – Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes (PEPSA, 2023). 86	
Tabla 31. Deflexiones corregidas – Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes (PEPSA, 2023).	87
Tabla 32. Deflexiones medidas – E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta (PEPSA, 2023)..	89
Tabla 33. Deflexiones medidas – E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta (PEPSA, 2023)..	89
Tabla 34. Deflexiones medidas, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo, (PEPSA, 2023).....	90
Tabla 35. Deflexiones corregidas, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo, (PEPSA, 2023).....	94
Tabla 36. Mediciones IRI, Circuito Periférico de Morelia (PEPSA, 2023).	101
Tabla 37. Mediciones IRI, Ramal Camelinas (PEPSA, 2023).	102
Tabla 38. Mediciones IRI, Zacapu-Villachuato (PEPSA, 2023).....	102
Tabla 39. Mediciones IRI, Puruándiro - Pastor Ortiz (PEPSA, 2023).....	103
Tabla 40. Mediciones IRI, Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes (PEPSA, 2023).	104

Tabla 41 Mediciones IRI, E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta (PEPSA, 2023).	105
Tabla 42. Mediciones IRI, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo (PEPSA, 2023).	106
Tabla 43. Circuito Periférico de Morelia, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).	110
Tabla 44. Análisis HDM-4 para el tramo 1 del km 0+000 al km 0+330.	111
Tabla 45. Análisis HDM-4 para el tramo DV Charo del km 2+420 al km 3+160.	112
Tabla 46. Análisis HDM-4 para el tramo 5 del km 5+670 al km 7+190.	113
Tabla 47. Análisis HDM-4 para el tramo 15 del km 20+430 al km 25+999.	114
Tabla 48. Zacapu-Villachuato, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).	115
Tabla 49. Análisis HDM-4 para el tramo 2 del km 1+800 al km 3+900.	116
Tabla 50. Análisis HDM-4 para el tramo 3 del km 3+900 al 8+400.	117
Tabla 51. Análisis HDM-4 para el tramo 4 del km 8+400 al 9+400.	118
Tabla 52. Análisis HDM-4 para el tramo 5 del km 9+400 al km 11+200.	119
Tabla 53. Análisis HDM-4 para el tramo 7 del km 19+700 al km 21+400.	120
Tabla 54. Análisis HDM-4 para el tramo 8 del km 21+400 al km 30+400.	121
Tabla 55. Análisis HDM-4 para el tramo 9 del km 30+400 al km 42+200.	122
Tabla 56. Puruándiro - Pastor Ortiz, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).	123
Tabla 57. Análisis HDM-4 para el tramo 2 del km 4+000 al km 36+600.	124
Tabla 58. Análisis HDM-4 para el tramo 3 del km 36+600 al km 40+400.	125
Tabla 59. Erongarícuaro-La Zaramora, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).	126
Tabla 60. Análisis HDM-4 para el tramo 3 del km 10+700 al km 28+200.	127
Tabla 61. Análisis HDM-4 para el tramo 4 del km 28+200 al km 29+200.	128
Tabla 62. Coíntzio - La Huerta, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).	129
Tabla 63. Análisis HDM-4 para el tramo 2 del km 3+000 al km 7+000.	130
Tabla 64. Análisis HDM-4 para el tramo 3 del km 7+000 al km 9+200.	131
Tabla 65. Análisis HDM-4 para el tramo 4 del km 9+200 al km 12+000.	132
Tabla 66. Análisis HDM-4 para el tramo 5 del km 12+000 al km 12+800.	133
Tabla 67. Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).	134
Tabla 68. Análisis HDM-4 para el tramo 1 del km 1+000 al km 3+900.	135
Tabla 69. Análisis HDM-4 para el tramo 2 del km 3+900 al km 8+400.	136
Tabla 70. Análisis HDM-4 para el tramo 3 del km 8+400 al km 9+400.	137
Tabla 71. Análisis HDM-4 para el tramo 4 del km 15+700 al km 37+000.	138
Tabla 72. Análisis HDM-4 para el tramo 5 del km 37+000 al km 53+000.	139
Tabla 73. Análisis HDM-4 para el tramo 6 del km 53+000 al km 57+400.	140
Tabla 74. Análisis HDM-4 para el tramo 7 del km 57+400 al km 61+200.	141
Tabla 75. Análisis HDM-4 para el tramo 8 del km 61+200 al km 72+000.	142
Tabla 76. Análisis HDM-4 para el tramo 9 del km 72+000 al km 77+300.	143
Tabla 77. Análisis HDM-4 para el tramo 10 del km 77+300 al km 111+000.	144
Tabla 78. Análisis HDM-4 para el tramo 11 del km 111+000 al km 114+000.	145
Tabla 79. Análisis HDM-4 para el tramo 12 del km 114+000 al km 123+200.	146
Tabla 80. Calendario de Puesta a punto de los activos viales en estudio.	147
Tabla 81. Análisis TDPA, Circuito Periférico de Morelia, Estación 1: km 4+300.	151
Tabla 82 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Salamanca, ubicada en el km 2+700.	152
Tabla 83. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Morelia – Salamanca, ubicada en el km 2+700	153
Tabla 84. TDPA estimados. Circuito Periférico de Morelia. Estación 1: km 4+300	153
Tabla 85. Composición vehicular. Circuito Periférico de Morelia. Estación 1.	154
Tabla 86. Análisis TDPA, Circuito Periférico de Morelia, Estación 2: km 12+300.	154
Tabla 87 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Pátzcuaro, ubicada en el km 3+000.	155
Tabla 88. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Morelia – Pátzcuaro, ubicada en el km 3+000.	156

Tabla 89. TDPA estimados. Circuito Periférico de Morelia. Estación 2: km 4+300.....	156
Tabla 90. Composición vehicular. Circuito Periférico de Morelia. Estación 2.....	157
Tabla 91. Análisis TDPA, Circuito Periférico de Morelia, Estación 3: km 20+700.....	157
Tabla 92 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Jiquilpan, ubicada en el km 3+100.....	158
Tabla 93. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Morelia – Jiquilpan, ubicada en el km 3+100.	159
Tabla 94. TDPA estimados. Circuito Periférico de Morelia. Estación 3: km 4+300.....	159
Tabla 95. Composición vehicular. Circuito Periférico de Morelia. Estación 3.....	160
Tabla 96. Resumen de resultados de aforos vehiculares realizados para el Circuito Periférico de Morelia.....	160
Tabla 97. Resumen de resultados de la composición vehicular para el Circuito Periférico de Morelia	160
Tabla 98. Análisis TDPA, Ramal Camelinás, Estación 1: km 4+500.....	161
Tabla 99 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Toluca - Morelia, ubicada en el km 238+600.....	162
Tabla 100. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Toluca - Morelia, ubicada en el km 238+600.	163
Tabla 101. TDPA estimados. Ramal Camelinás. Estación 1: km 4+700.....	163
Tabla 102. Composición vehicular. Ramal Camelinás. Estación 1	164
Tabla 103. Datos viales de estaciones que forman parte de la carretera Zacapu -Villachuato.	164
Tabla 104. TDPA promedio de las estaciones de conteo de la carretera Zacapu – Villachuato. ...	165
Tabla 105. TDPA estimados con datos viales para tramo carretero de Zacapu - Villachuato.	166
Tabla 106. Composición vehicular. Zacapu – Villachuato.	166
Tabla 107. Análisis TDPA, Puruándiro - Pastor Ortiz, Estación 1: km 4+000.	167
Tabla 108 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Cuitzeo - Zináparo, ubicada en el km 61+000.	167
Tabla 109. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Cuitzeo - Zináparo, ubicada en el km 61+000.	168
Tabla 110. TDPA estimados. Puruándiro - Pastor Ortiz, Estación 1: km 4+000.	169
Tabla 111. Composición vehicular. Puruándiro - Pastor Ortiz, Estación 1.....	169
Tabla 112. Análisis TDPA, Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes, Estación 1: km 11+000.	170
Tabla 113 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Pátzcuaro - Chupícuaro, ubicada en el km 17+000.	171
Tabla 114. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Pátzcuaro - Chupícuaro, ubicada en el km 17+000.....	172
Tabla 115. TDPA estimados. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes, Estación 1: km 11+000.	172
Tabla 116. Composición vehicular. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes, Estación 1: km 11+000.	172
Tabla 117. Análisis TDPA, E.C. (Morelia - Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta, Estación 1: km 9+000.	173
Tabla 118 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia - Pátzcuaro, ubicada en el km 3+000.	174
Tabla 119. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Toluca - Morelia, ubicada en el km 238+600.	175
Tabla 120. TDPA estimados. Ramal Camelinás. Estación 1: km 4+700.....	175
Tabla 121. Composición vehicular. E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.	176
Tabla 122. Datos viales de estaciones que forman parte de la carretera Cuitzeo – Zináparo.....	176
Tabla 123. TDPA promedio de las estaciones de conteo de la carretera Cuitzeo – Zináparo.....	177
Tabla 124. TDPA estimados con datos viales para tramo carretero de Cuitzeo – Zináparo.....	178

<i>Tabla 125. Composición vehicular. Cuitzeo –Puruándiro - Zináparo.</i>	178
<i>Tabla 126. Condición Estructural de los tramos evaluados.</i>	179
<i>Tabla 127. Criterios de referencia para la evaluación del IRI.</i>	192
<i>Tabla 128. Estado físico de los tramos evaluados antes de la puesta a punto.</i>	192
<i>Tabla 129. Análisis de costos de operación, Circuito Periférico de Morelia</i>	203
<i>Tabla 130. Análisis: Beneficios vs Costos de financiamiento, C.P.M.</i>	204
<i>Tabla 131. Análisis de costos de operación, Ramal Camelinas.</i>	206
<i>Tabla 132 Análisis: Beneficios vs Costos de financiamiento, Ramal Camelinas</i>	207
<i>Tabla 133. Análisis de costos de operación, Zacapu – Villachuato.</i>	208
<i>Tabla 134. Beneficios vs Costos de financiamiento, Zacapu – Villachuato.</i>	209
<i>Tabla 135. Análisis de costos de operación, Puruándiro – Pastor Ortiz.</i>	210
<i>Tabla 136. Beneficios vs Costos de financiamiento, Puruándiro – Pastor Ortiz.</i>	211
<i>Tabla 137. Análisis de costos de operación, Erongarícuaro – La Zarzamora – Franco Reyes.</i>	212
<i>Tabla 138. Beneficios vs Costos de financiamiento, Erongarícuaro – La Zarzamora – Franco Reyes.</i>	213
<i>Tabla 139. Análisis de costos de operación, (Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.</i>	214
<i>Tabla 140. Beneficios vs Costos de financiamiento, (Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.</i>	215
<i>Tabla 141. Análisis de costos de operación, Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.</i>	216
<i>Tabla 142. Beneficios vs Costos de financiamiento, Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.</i>	217
<i>Tabla 143. Resumen de TIR y Principales Propuestas por Tramo Evaluado (HDM-4)</i>	218
<i>Tabla 144. Resumen de TDPA y %TC</i>	220
<i>Tabla 145. Resumen Deflexiones e IRI promedio por tramo.</i>	221
<i>Tabla 146. Comparación de Ahorros vs Inversión por Tramo</i>	222

DEDICATORIA

Para aquellos que me han visto sin estar presentes.
Para los que, aunque ausentes, siguen guiando mis pasos.
Y para los que creen, sin preguntas, en lo invisible.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al Dr. Jorge Alarcón Ibarra por brindarme la oportunidad de colaborar y desarrollar este trabajo bajo su asesoría. Para mí ha sido un verdadero honor trabajar con alguien a quien siempre he admirado profesionalmente. Agradezco profundamente el tiempo, el interés y la confianza que me otorgó para asegurar el adecuado avance de esta investigación. Su apoyo fue fundamental para su realización, y la experiencia adquirida a lo largo de este proceso ha sido invaluable para mí.

Al Dr. Carlos Chávez Negrete, por su invaluable apoyo y las enseñanzas compartidas durante mi tiempo en la universidad, a lo largo de la maestría.

A mis profesores de la maestría, quienes me brindaron la oportunidad de ser parte de este programa y crecer profesionalmente. Mi agradecimiento a los doctores Rafael Soto Espitia, Antonio Hurtado Beltrán, Nelio Pastor Gómez y Eleazar Arreygue Rocha, por sus valiosas enseñanzas y por el apoyo constante que me ofrecieron durante este proceso. Su influencia ha dejado una huella significativa en mi formación, y sus lecciones perdurarán a lo largo de mi carrera.

A mis compañeros de la maestría, por su amistad y por todos los momentos compartidos. En especial, a Berenice Jiménez Vázquez y Cyntia E. García Díaz, gracias por su constante apoyo y por estar siempre presentes.

A la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP) por su invaluable apoyo al facilitar toda la información necesaria para llevar a cabo esta investigación. Sin su colaboración, este trabajo no hubiera sido posible. En especial, quiero agradecer al subsecretario de SCOP, el Maestro Jorge Humberto Villegas, por su papel fundamental en el éxito de esta investigación; al director de Caminos y Carreteras, el Maestro Flavio Milián Ávila; y al subdirector de Obras Multianuales, el Maestro Luis Maycotte Salazar, a quien agradezco profundamente por su apoyo constante y especialmente por su orientación en este proceso.

A la empresa PEPSA, a todo su personal y, en especial, al M.I. Dantón Mendoza Cervantes, por habernos abierto las puertas de su empresa y brindarnos el apoyo necesario para la realización de esta investigación.

A mi abuelita, mamá Esther, cuya ilusión perdura más allá del tiempo.

A mis padres, que siempre están presentes, por creer en mí y apoyarme en todos mis sueños; gracias a ellos he cumplido una meta más.

A mi familia, por su cariño, por creer en mí y por hacer posible lo imposible.

Finalmente, quiero agradecer a Maybelin, Iván y Aarón, por su constante apoyo, por estar, por apoyarme siempre en los momentos buenos y en los más difíciles.

I. RESUMEN

La conservación de la infraestructura vial es esencial para garantizar la movilidad, la seguridad vial y el desarrollo económico. En México, los esquemas multianuales de rehabilitación y conservación de carreteras representan una estrategia innovadora que busca maximizar la eficiencia en el uso de recursos y garantizar mejores condiciones de operación.

Esta investigación evaluó la eficiencia del Programa de Obra Pública Multianual de Rehabilitación y Conservación de Carreteras en el Estado de Michoacán (2023-2027), enfocándose en los impactos de la etapa de puesta a punto. Se analizaron parámetros clave como el Índice de Regularidad Internacional (IRI), deflexiones y costos de operación vehicular, utilizando datos obtenidos durante la etapa de auscultación, así como proyecciones realizadas con el modelo HDM-4. Adicionalmente, se calcularon los beneficios económicos para los usuarios, considerando la relación entre los costos de inversión y los ahorros generados por mantener la infraestructura en condiciones óptimas.

El análisis incluyó los tramos carreteros del grupo 5, zona centro de Michoacán. Los análisis mostraron que las intervenciones podrían mejorar significativamente el IRI, alcanzando valores promedio menores a 3.5. Asimismo, se estimaron ahorros económicos totales para los usuarios por \$1,440.68 millones de pesos y relaciones beneficio-costo (B/C) superiores a 5 en varios tramos, validando la rentabilidad del programa.

Los resultados confirman que las intervenciones de puesta a punto contribuyen a la durabilidad de los tramos carreteros y a la reducción de los costos de operación vehicular. Sin embargo, la falta de datos posteriores a las intervenciones restringió una evaluación más integral que permita conocer su impacto a largo plazo.

(Palabras clave: Conservación vial, multianual, puesta a punto, HDM-4, deflexiones, IRI, costos de operación.)

II. ABSTRACT.

Conservation of road infrastructure is essential to ensuring mobility, road safety, and economic development. In Mexico, multiyear rehabilitation and road maintenance schemes represent an innovative strategy aimed at maximizing resource efficiency and ensuring better operating conditions.

This research evaluated the efficiency of the Multiyear Public Works Program for Road Rehabilitation and Maintenance in the State of Michoacán (2023-2027), focusing on the impacts of the "put in place" phase. Key parameters such as the International Roughness Index (IRI), deflections, and vehicle operation costs were analyzed using data obtained during the inspection phase, as well as projections made with the HDM-4 model. Additionally, economic benefits for users were calculated, considering the relationship between investment costs and the savings generated by maintaining infrastructure in optimal conditions.

The analysis included road sections from Group 5, central Michoacán. The results showed that the interventions could significantly improve the IRI, achieving average values below 3.5. Economic savings for users were estimated at \$1,440.68 million pesos, with benefit-cost (B/C) ratios exceeding 5 in several sections, validating the program's profitability.

The results confirm that the interventions in the "put in place" phase contribute to the durability of road sections and reduce vehicle operation costs. However, the lack of data following the interventions limited a more comprehensive assessment of their long-term impact.

(Keywords: Road maintenance, put in place, multiyear, HDM-4, deflections, IRI, operation costs.)

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

México se enfrenta a continuos desafíos en la construcción, mantenimiento y mejora de su infraestructura vial, una red que no solo sustenta el crecimiento económico y la conectividad regional, sino que también es crucial para la seguridad de sus usuarios. Según el Índice Global de Competitividad del último reporte del World Economic Forum de 2019 (Ilustración 1), México ocupaba el puesto 48 de 141 países y en cuestión de infraestructura obtuvo una puntuación de 72 sobre 100, destacando la necesidad de fortalecer sus capacidades en esta área para mejorar su posición global (World Economic Forum, 2019).

Performance Overview 2019 Key ◇ Previous edition ▲ Upper-middle-income group average □ Latin America and the Caribbean average

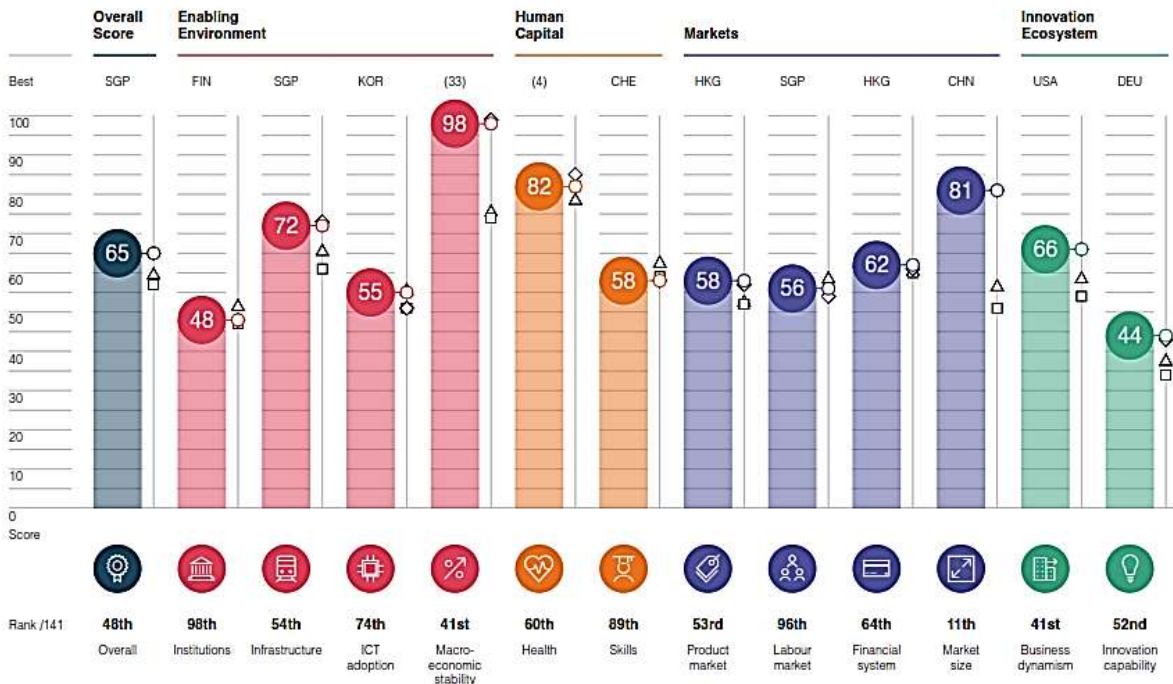


Ilustración 1. Índice Global de Competitividad (World Economic Forum, 2019)

La red carretera de México es extensa y diversa, abarcando desde grandes autopistas que conectan los principales centros urbanos hasta carreteras secundarias que penetran en áreas rurales profundas (Ilustración 2). Esta red es esencial para el transporte de personas, mercancías y servicios, ya que a través de ella se moviliza el 96% de pasajeros y el 56% de las cargas, actuando como un pilar fundamental para el desarrollo de muchas regiones del país (Cal y Mayor, 2023).

Red Nacional de Caminos (RNC) 2023 - México		
Carreteras federales		51,339 km
→ Carreteras de cuota - 11,094 km		
-Carreteras estatales		103,023 km
-Otros (municipales, particulares)		23,855 km
Carreteras pavimentadas*		178,217 km
1,356 Plazas de cobro		
-Vialidades urbanas e infraestructura de enlace		130,642 km
Camino NO pavimentados		527,744 km
→ 21,463 km de Veredas		
		Longitud total de la RNC: 836,603 km* (carreteras pavimentadas + vialidades/enlaces + caminos)

Ilustración 2. Red Nacional de Caminos de México 2024 (Instituto Mexicano del Transporte, 2024)

Sin embargo, mantener una red tan amplia y variada en buen estado representa un desafío considerable. El desgaste natural, el tráfico intenso, las condiciones climáticas adversas, el envejecimiento de la infraestructura y la disminución en inversiones en conservación son factores que contribuyen al deterioro continuo de la infraestructura vial (Ilustración 3). Estos factores requieren una gestión constante y estratégica para asegurar la durabilidad y calidad de las carreteras.

En Michoacán, un estado que cuenta con una Red Estatal de aproximadamente 3245.2 km (3200 km libre de peaje y 45.2 de cuota), la situación es particularmente crítica debido a su topografía variada y su clima diverso, que van desde zonas costeras hasta montañas altas. Aunado a lo anterior existe un abandono marcado, inversiones sin planeación, construcción sin conservación y 70% de la red en mal estado (Villegas García, 2024). La red carretera del estado es vital para la integración de sus diversas localidades y para facilitar el crecimiento económico regional.

INVERSIONES EN CONSERVACIÓN 1994-2024
MDP Constantes de 2024

Fecha: mayo de 2024

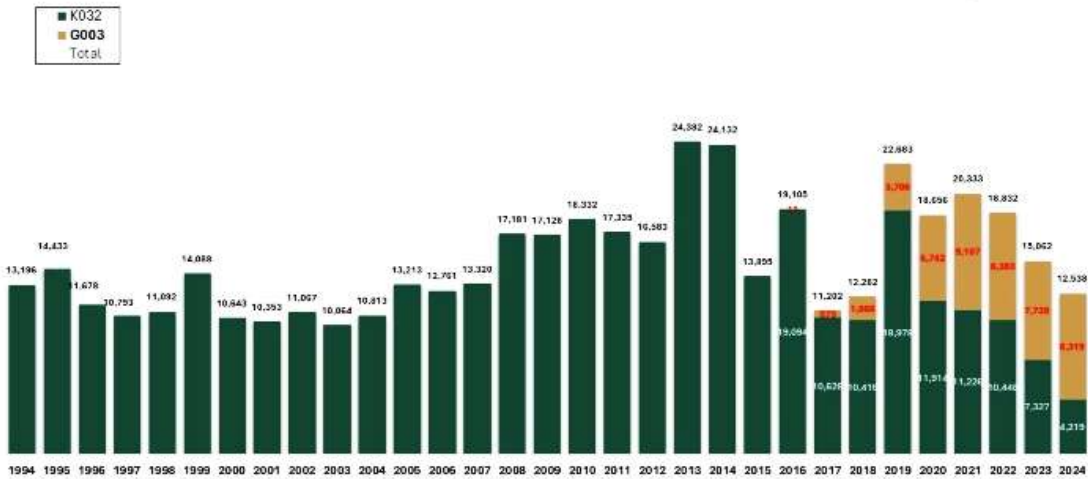


Ilustración 3. Histórico de inversiones en conservación México (SICT, 2024)

Frente a estos desafíos, la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP) ha implementado un programa bajo el esquema “Multianualidad en la Obra Pública” para infraestructura carretera en el Estado de Michoacán, para el periodo 2023-2027, con el objetivo de mejorar la calidad y eficiencia de las carreteras estatales. Este programa es una respuesta estratégica a la necesidad de una gestión más efectiva y eficiente de los recursos dedicados a la conservación vial.

Este programa busca llevar a cabo un mantenimiento continuo de las vialidades, garantizando una superficie de rodamiento óptima que mejore la eficiencia económica al reducir los costos de operación y mantenimiento de las carreteras a lo largo de su vida útil. Como se muestra en la Ilustración 4 los costos de mantenimiento para un camino en buen estado son bajos y los trabajos de conservación son sencillos y a medida que el deterioro avanza, la conservación es cada vez más costosa y compleja.

Esta investigación se centra en evaluar la eficiencia de las actividades realizadas durante la etapa de "Puesta a Punto" del programa de conservación multianual de carreteras de Michoacán. El programa ha definido diferentes etapas para llevar a cabo las actividades de conservación, estas etapas se resumen de la siguiente manera: auscultación y evaluación, dictamen técnico, proyecto y ejecución. La

etapa Puesta a Punto se ubica dentro de las etapas de proyecto y ejecución. Esta etapa implica las actividades que debe realizar el Contratista para alcanzar los niveles de servicio que le serán exigidos durante toda la duración del contrato.

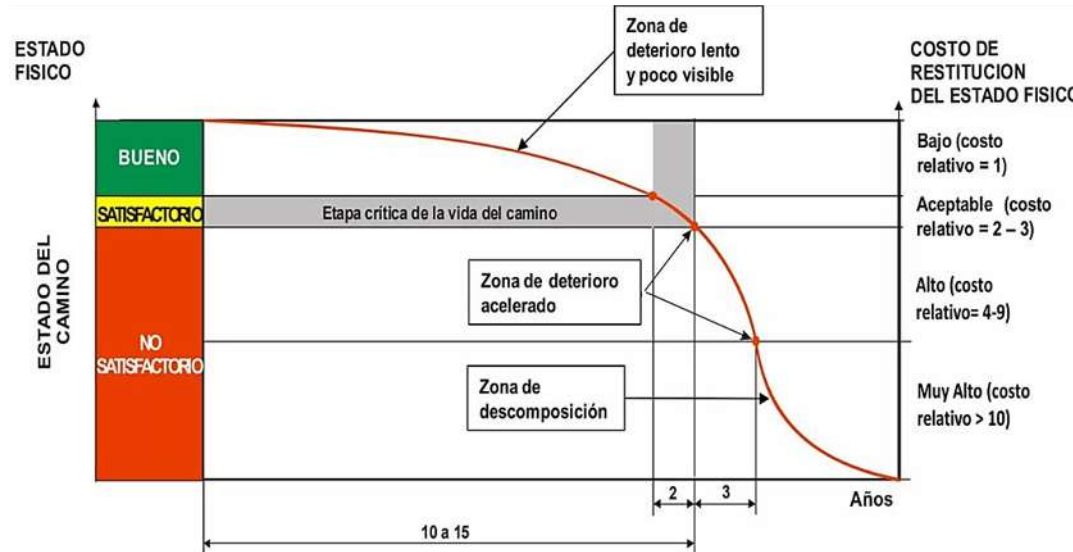


Ilustración 4. Costos asociados a la conservación de la infraestructura vial (Dirección General de Conservación de Carreteras, 2011)

Con estos antecedentes, la tesis busca evaluar la eficiencia de las actividades propuestas como alternativas de solución a ejecutar durante la etapa de "Puesta a punto" en los diversos tramos carreteros del grupo 5, zona centro de Michoacán. Esto se realizará mediante un análisis comparativo, tomando como parámetro a comparar el IRI proyectado y estimado para la etapa de conservación y el IRI medido antes de la puesta a punto. Así mismo se analizará la condición estructural del pavimento, evaluada a través de la obtención de deflexiones.

Estas actividades, propuestas como alternativas de solución, están limitadas a especificaciones particulares y no normativas debido a restricciones de recursos económicos. Por lo tanto, resulta de interés llevar a cabo esta evaluación para determinar si la estrategia de inversión empleada fue la más eficiente posible, ya que existe un vacío en la literatura referente a este tema y una falta de certeza sobre si las inversiones en la etapa de "Puesta a punto" están siendo exitosas o si las inversiones en la conservación de carreteras son eficientes y efectivas.

1.2 Planteamiento del problema

En el contexto de la gestión de la conservación de infraestructura vial, enfrentamos un periodo donde la eficiencia y efectividad de las inversiones son críticas, especialmente bajo circunstancias de restricción presupuestaria y demandas crecientes sobre la red carretera. En Michoacán, como en muchas otras regiones, la red vial es esencial no solo para la movilidad diaria sino también para el desarrollo económico y la integración regional. Por lo tanto, conocer el estado de los activos viales es fundamental para dirigir los recursos limitados hacia las intervenciones más necesarias y beneficiosas.

La valoración cualitativa y cuantitativa de estos activos viales, como se destaca en las discusiones sobre la gestión de pavimentos (Soto Espitia, 2023), es crucial para diseñar estrategias de inversión que maximicen la rentabilidad y la sostenibilidad de la infraestructura. Este enfoque se alinea con tecnologías de apoyo orientadas a la gestión de pavimentos como el HDM-4 y metodologías como el esquema de contratación multianual que apoyan la valoración funcional de los pavimentos, permitiendo así un uso más eficiente de los recursos materiales y económicos.

Sin embargo, existe una falta de certeza sobre si las inversiones en la etapa de puesta a punto en programas de conservación carretera bajo el esquema de “Multianualidad en Obra Pública” están teniendo el mayor éxito posible, en otras palabras, no se sabe si las inversiones e intervenciones en la conservación de las carreteras están siendo eficientes y efectivas.

Dado este contexto, es esencial no solo investigar la eficiencia de las intervenciones actuales sino también desarrollar y recomendar estrategias para optimizar futuras inversiones, implementando programas efectivos de conservación, para asegurar que las carreteras cumplan con los estándares de desempeño a lo largo de la duración del contrato y su éxito se vea reflejado en menores costos de operación a los usuarios y en una mejor calidad y durabilidad de las carreteras.

1.3 Justificación

En México, existe una notable ausencia de estudios detallados que evalúen la eficiencia de las intervenciones específicas de puesta a punto dentro de los programas de conservación multianual. Este vacío en la investigación y la literatura limita nuestra capacidad para verificar objetivamente si las acciones implementadas para mejorar la red vial están cumpliendo efectivamente con sus objetivos.

Este estudio aborda esta carencia y se presenta como una oportunidad crucial para contribuir significativamente al conocimiento en el campo de la conservación de carreteras. Al evaluar específicamente la etapa de "Puesta a Punto", la investigación buscará determinar si las actividades de conservación ejecutadas en esta fase logran el impacto deseado en la mejora de la infraestructura vial y si los resultados obtenidos justifican la inversión realizada.

Además, la evaluación de estas intervenciones permitirá no solo mejorar la ejecución de las acciones futuras sino también optimizar el uso de los recursos disponibles. Al confirmar la eficiencia de las medidas adoptadas, este estudio contribuirá a garantizar que las inversiones en la conservación de carreteras sean más estratégicas y efectivas, resultando en mejoras tangibles y sostenibles en la infraestructura vial.

En consecuencia, los hallazgos de esta investigación tendrán el potencial de influir positivamente en la planificación y ejecución de futuros programas de conservación, asegurando que las estrategias implementadas maximicen su efectividad y proporcionen beneficios duraderos para la comunidad y la economía regional.

1.4 Objetivos

Objetivo General: Evaluar el impacto de las intervenciones realizadas durante la etapa de puesta a punto en los tramos carreteros del Programa de Obra Pública Multianual de Rehabilitación y Conservación de Carreteras en el Estado de Michoacán, mediante el análisis de parámetros de desempeño como el IRI y las deflexiones, así como el análisis de costos de operación y financiamiento, con el fin

de determinar si las actividades realizadas logran los resultados esperados en términos de mejora de la infraestructura vial y reducción de costos de operación a los usuarios.

Objetivos específicos:

1. Revisar el estado del arte y el marco teórico sobre esquemas de contratación y conservación vial: Analizar los antecedentes, conceptos y metodologías relacionadas con los esquemas de contratación de obra pública, incluidas las estrategias basadas en multianualidad y los sistemas de gestión de activos como el HDM-4, para sustentar las etapas de evaluación y propuestas de mejora.

2. Evaluar el estado físico inicial de los tramos carreteros analizando los valores de IRI y las mediciones de deflexiones antes de las intervenciones, para determinar el porcentaje de daños y el estado de la infraestructura vial.

3. Analizar la evolución del estado físico de los tramos: Revisar los valores de IRI para la etapa de conservación, proyectados con el modelo HDM-4, de acuerdo con especificaciones, y comparar estos valores con los registrados antes de las intervenciones, evaluando el impacto de las actividades de puesta a punto en el desempeño de los tramos.

4. Realizar un análisis de tránsito que incluya el cálculo del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), la tasa de crecimiento y la composición vehicular, para obtener datos clave en la evaluación de los costos de operación vehicular en los tramos carreteros.

5. Determinar los costos de operación vehicular para los tramos carreteros analizados, comparando las condiciones actuales con las condiciones proyectadas y estimadas en la etapa de conservación, y calcular los ahorros generados para los usuarios.

6. Comparar los costos de infraestructura y financiamiento del Programa de Obra Pública Multianual de Rehabilitación y Conservación de Carreteras con los ahorros en costos de operación vehicular para evaluar la rentabilidad y efectividad de las intervenciones realizadas.

1.5 Hipótesis

Las intervenciones que serán realizadas durante la etapa de Puesta a Punto contribuyen significativamente a la mejora de los índices de desempeño de los tramos carreteros evaluados, resultando en una reducción en los costos de operación y mantenimiento, y en una mayor durabilidad de la infraestructura vial.

Si determinamos el **Costo Generalizado del Transporte**, a través de parámetros de desempeño, se pueden proyectar y modelar horizontes de evaluación económico-financiero para determinar la rentabilidad y efectividad de las intervenciones realizadas en el programa de Obra Pública Multianual de rehabilitación y conservación carretera en Michoacán.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Conservación de carreteras

La conservación de carreteras es una disciplina fundamental en el ámbito de la infraestructura vial que se ocupa de mantener, mejorar y prolongar la vida útil de las carreteras y de acuerdo a la Dirección General de Carreteras en México su objetivo principal es garantizar el tránsito, la seguridad y el confort de los usuarios del camino durante cualquier época del año (Dirección General de Conservación de Carreteras, 2011).

2.1.1 Objetivos de la conservación de carreteras

La conservación de carreteras tiene como objetivos principales los siguientes puntos:

Seguridad vial: Garantizar la seguridad de los usuarios de las carreteras mediante la identificación y corrección de deficiencias que puedan afectar la circulación y causar accidentes.

Funcionalidad: Mantener el nivel de servicio y la funcionalidad de las carreteras, asegurando una adecuada capacidad de carga y fluidez del tráfico.

Durabilidad: Prolongar la vida útil de las carreteras y evitar su deterioro prematuro, protegiendo la inversión realizada en su construcción.

Sostenibilidad: Promover prácticas de conservación sostenibles que minimicen el impacto ambiental y optimicen el uso de recursos.

Eficiencia económica: Reducir los costos de operación y mantenimiento de las carreteras a lo largo de su vida útil.

2.1.2 Costos relacionados con el autotransporte

El autotransporte tiene un papel fundamental en la movilidad y el desarrollo económico de una región, pero también conlleva diversos costos que deben ser considerados tanto por los administradores viales como por los usuarios de las carreteras. Los principales costos relacionados con el autotransporte se describen a continuación:

Costo inicial de construcción: Los costos iniciales de construcción se refieren a la inversión realizada en la construcción de las carreteras y su infraestructura asociada. Incluye el diseño y la ingeniería, la adquisición de terrenos, la preparación del terreno, la pavimentación y la construcción de puentes y drenajes. El costo inicial de construcción es una inversión a largo plazo que debe considerar la calidad y durabilidad de los materiales utilizados, así como la capacidad de carga y los estándares de diseño para garantizar la seguridad y eficiencia de la infraestructura vial.

Costos de mantenimiento: Los costos de mantenimiento se refieren a los recursos financieros destinados a mantener las carreteras en buen estado y prevenir su deterioro prematuro. Estos costos incluyen actividades de mantenimiento rutinario, periódico y de rehabilitación, como la reparación de baches, el recarpeteo del pavimento o repavimentación, la reposición de señales, la limpieza de cunetas, entre otras. Un mantenimiento adecuado y oportuno es esencial para prolongar la vida útil de las carreteras y evitar costos mayores de rehabilitación y reconstrucción.

Costos de operación (costos a los usuarios): Los costos de operación son aquellos que inciden directamente en los usuarios del autotransporte, y se dividen en varios aspectos:

- **Costo de operación del vehículo:** Este costo incluye los gastos asociados con el mantenimiento y el funcionamiento del vehículo, como el consumo de combustible, el cambio de aceite, las reparaciones y el reemplazo de piezas desgastadas. Estos costos son directamente proporcionales al tipo de

vehículo, su antigüedad, el tipo de carretera por la que circula y las condiciones de manejo.

- **Costo del tiempo del viaje:** Este costo se refiere al tiempo que los usuarios invierten en sus desplazamientos por las carreteras. Incluye el tiempo de viaje real, así como los tiempos de espera en embotellamientos o tráfico lento. El costo del tiempo del viaje es especialmente relevante para actividades económicas y productivas, ya que el tiempo perdido en el tráfico representa una pérdida de productividad y oportunidades.
- **Costo por accidente:** Este es uno de los costos más críticos y trágicos relacionados con el autotransporte. Incluye los gastos médicos y de atención a víctimas, los costos de reparación de vehículos dañados y los costos asociados con la congestión vial generada por los accidentes. Además de los costos económicos, los accidentes de tráfico también implican un costo humano significativo en términos de pérdidas de vidas y lesiones.

2.1.3 Factores que contribuyen al deterioro de los pavimentos

A continuación, se detallan algunos de los factores más relevantes que afectan la calidad y durabilidad de los pavimentos:

Exceso de cargas: El tráfico de vehículos pesados y cargas que exceden la capacidad de diseño de la carretera pueden causar daños en el pavimento, especialmente en las capas superficiales. El peso y el número de ejes de los vehículos influyen directamente en la fatiga y el desgaste del pavimento.

Aspectos climatológicos: Las condiciones climáticas tienen un impacto significativo en los pavimentos. Las variaciones de temperatura, con ciclos de congelación y deshielo, pueden causar fisuras y fracturas en el pavimento. La presencia de agua también es un factor clave, ya que puede debilitar la estructura del pavimento y contribuir a la erosión.

Sistema de drenaje inadecuado: La falta de un sistema de drenaje eficiente puede conducir a la acumulación de agua en la superficie del pavimento o en sus capas

subyacentes. El agua estancada debilita el suelo y los materiales del pavimento, lo que puede resultar en deformaciones y deterioro prematuro.

Capacidad estructural insuficiente: Un diseño de pavimento inadecuado o una construcción deficiente pueden llevar a que la estructura no sea capaz de soportar las cargas y tráfico previstos. Esto provoca el agrietamiento, hundimiento y deformación del pavimento.

Calidad de materiales deficiente: El uso de materiales de baja calidad en la construcción del pavimento puede resultar en una disminución de su resistencia y durabilidad. La calidad de los agregados, el asfalto, el concreto y otros componentes es fundamental para asegurar la integridad del pavimento.

Trabajos de mantenimiento inadecuados: La falta de mantenimiento o el uso de técnicas inadecuadas en la reparación de daños existentes puede agravar el deterioro del pavimento y acortar su vida útil.

Disminución en Inversiones en Conservación: Una reducción en la asignación de fondos para el mantenimiento y conservación de carreteras lleva a un ciclo vicioso de deterioro. La falta de mantenimiento preventivo y correctivo adecuado permite que los pequeños problemas se conviertan en daños estructurales mayores, incrementando exponencialmente el costo y la complejidad de las reparaciones necesarias (Ilustración 3).

2.1.4 Tipos de mantenimiento y conservación de carreteras

La conservación de carreteras se lleva a cabo mediante diferentes tipos de mantenimiento, que se adaptan a las necesidades específicas de cada tramo carretero. El tipo de mantenimiento a aplicar en cada tramo carretero dependerá del estado de la infraestructura, el tráfico vehicular, el presupuesto disponible y las necesidades específicas de conservación. A continuación, se describen los principales tipos de mantenimiento:

Mantenimiento rutinario: También conocido como mantenimiento preventivo, se realiza de forma regular y constante para conservar las condiciones normales de la

carretera. Incluye actividades como limpieza de cunetas, reposición de señalización y demarcación, y reparación de baches.

Mantenimiento periódico: Este tipo de mantenimiento se realiza en intervalos establecidos y abarca acciones más extensas que el mantenimiento rutinario. Incluye actividades como el recarpeteo del pavimento o repavimentación, el reemplazo de señales dañadas y la rehabilitación de puentes y drenajes.

Mantenimiento de rehabilitación: Es el tipo de mantenimiento más profundo y se lleva a cabo cuando las carreteras han sufrido un deterioro significativo. Involucra acciones de mayor envergadura, como la reconstrucción del pavimento y la mejora estructural de la vía.

Al implementar adecuadamente estos tipos de mantenimiento, se asegura la durabilidad y seguridad de las carreteras, promoviendo una red vial eficiente y confiable para la sociedad y la economía del país.

2.1.5 Etapas para la definición de la conservación

Las etapas para la definición de la conservación de carreteras pueden variar según las normativas y procesos específicos de cada país o entidad responsable de la infraestructura vial (López Bustamante, 2023). A continuación, se presentan las etapas generales que se suelen seguir en el proceso de definición de la conservación:

Auscultación y evaluación: En esta etapa, se lleva a cabo una inspección y evaluación detallada de la infraestructura vial existente. Se realiza un diagnóstico para determinar el estado actual de las carreteras, incluyendo el análisis del pavimento, las estructuras, el sistema de drenaje y otros elementos relevantes. Se utilizan técnicas de auscultación como pruebas de deflexión, evaluación visual, análisis de muestras de materiales, entre otros, para obtener datos precisos sobre el estado de la infraestructura.

Dictamen técnico: Con base en los resultados de la auscultación y evaluación, se elabora un dictamen técnico que presenta un diagnóstico detallado del estado de

las carreteras y las necesidades de conservación. El dictamen técnico incluye recomendaciones específicas para las acciones de mantenimiento, rehabilitación y mejoras que se deben realizar en cada tramo carretero. También se establece un programa de conservación, que puede ser de corto, mediano o largo plazo, dependiendo de la magnitud de las intervenciones requeridas.

Proyecto: Una vez que se ha realizado el dictamen técnico y se han definido las acciones necesarias, se procede a la etapa de proyecto. En esta fase, se desarrollan los diseños y las especificaciones técnicas para las intervenciones de conservación. Se detallan los aspectos constructivos, los materiales a utilizar y se establecen los procedimientos y plazos para la ejecución de las obras.

Ejecución: La etapa de ejecución es la fase en la que se llevan a cabo las acciones de conservación definidas en el proyecto. Esto implica la realización de los trabajos de mantenimiento, rehabilitación y mejoras de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas. Durante esta etapa, se verifica el cumplimiento de los estándares de calidad y se realiza un seguimiento para asegurar que las obras se realicen de manera adecuada y en los tiempos previstos.

La etapa de "Puesta a Punto" se encuentra dentro de la fase de "Ejecución", ya que es en esta etapa donde se ejecutan las acciones de conservación necesarias para mejorar y mantener la infraestructura vial de acuerdo con el dictamen técnico y los proyectos establecidos.

2.2 Etapa de Puesta a Punto

La etapa de Puesta a Punto contempla las actividades que debe realizar el Contratista para alcanzar los niveles de servicio o estándares de desempeño que le serán exigidos durante toda la duración del contrato (Ferreyra Pereyra, 2012).

2.2.1 Definición de la etapa de Puesta a Punto

La etapa de Puesta a Punto puede definirse como el conjunto de actividades planificadas y coordinadas que se realizan en tramos carreteros específicos con el

objetivo de mejorar su estado y rendimiento. Estas acciones pueden incluir trabajos de mantenimiento, rehabilitación y acciones para la correcta operación de los tramos, todo ello bajo los estándares de desempeño preestablecidos.

2.2.2 Objetivos de la etapa de Puesta a Punto

Los principales objetivos de la etapa de Puesta a Punto son:

Mejorar la calidad del pavimento: Se busca corregir y prevenir defectos en el pavimento, como baches, fisuras y deformaciones, para asegurar una superficie adecuada y segura para los vehículos y usuarios.

Optimizar la seguridad vial: La etapa de Puesta a Punto también tiene como objetivo identificar y corregir elementos de riesgo en la carretera, como puntos peligrosos, señalización deficiente o falta de elementos de protección, con el fin de reducir la incidencia de accidentes de tráfico.

Restaurar la capacidad estructural: En casos en que el pavimento haya perdido capacidad de carga debido a la degradación, se realizan acciones de rehabilitación para restaurar la capacidad estructural y prolongar la vida útil de la carretera.

Garantizar el nivel de servicio: Se busca mantener o mejorar el nivel de servicio de la carretera, asegurando una adecuada comodidad y eficiencia en la movilidad de los usuarios.

2.2.3 Beneficios de la etapa de Puesta a Punto

La implementación de la etapa de Puesta a Punto, de una manera correcta, ofrece diversos beneficios, entre los que destacan:

Mejora de la calidad de la infraestructura vial: Al realizar trabajos de mantenimiento y rehabilitación, se prolonga la vida útil de la carretera y se reduce su deterioro, lo que resulta en una infraestructura más duradera y eficiente.

Mayor seguridad para los usuarios: Al corregir elementos de riesgo y mantener en buen estado la señalización vial, se reducen los accidentes y se aumenta la seguridad vial en la red carretera.

Eficiencia en el transporte: Una carretera en buen estado proporciona una circulación más fluida y segura, lo que se traduce en un transporte más eficiente para la movilización de personas y mercancías.

Reducción de costos a largo plazo: Al invertir en acciones de Puesta a Punto de manera oportuna, se evitan intervenciones más costosas en el futuro, ya que se previene el deterioro avanzado y el daño estructural de la carretera.

2.3 Parámetros de desempeño

Los parámetros de desempeño utilizados para evaluar el estado y la calidad de las carreteras se dividen en dos categorías principales: aquellos que evalúan la condición superficial y los que evalúan la condición estructural de la infraestructura vial (N-CSV-CAR-1-03-001/24). La evaluación de los parámetros de desempeño es fundamental para tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y conservación de las carreteras. Estos indicadores permiten identificar áreas con problemas y priorizar las acciones de rehabilitación y refuerzo. A continuación, se describe cada uno de estos parámetros y su importancia en la evaluación de la calidad de las carreteras:

2.3.1 Parámetros de evaluación de la condición superficial

Índice Internacional de Rugosidad (IRI): Es una medida de referencia que representa la regularidad de la superficie de rodadura del pavimento, que corresponde a la relación entre el desplazamiento vertical acumulado de la suspensión de un vehículo específico y la distancia recorrida por el mismo a una velocidad de ochenta (80) kilómetros por hora y se expresa en metros por kilómetro o milímetros por metro (N-CSV-CAR-1-03-004-21). Un IRI bajo indica una superficie más uniforme y confortable para conducir.

De acuerdo a la normativa (N-CSV-CAR-1-03-004-21) el estado físico del pavimento en función del IRI según el tipo de carretera se clasifica de acuerdo a la tabla 1.

Tabla 1. Estado físico del pavimento en función del IRI según el tipo de carretera

Unidades en m/km

Estado físico del pavimento	Índice de Regularidad Internacional	
	Autopistas de cuota y corredores carreteros	Red básica libre y red secundaria
Bueno	< 1,8	< 2,5
Aceptable	1,8 a 2,5	2,5 a 3,5
No satisfactorio	> 2,5	> 3,5

Profundidad de Rodera (PR): En sentido estricto, son deformaciones verticales permanentes del pavimento que se reflejan en el perfil transversal y que se presentan como un surco longitudinal a lo largo del camino bajo las huellas de rodamiento (Ilustración 5) y generalmente se expresan en milímetros (N-CSV-CAR-1-03-009/16).

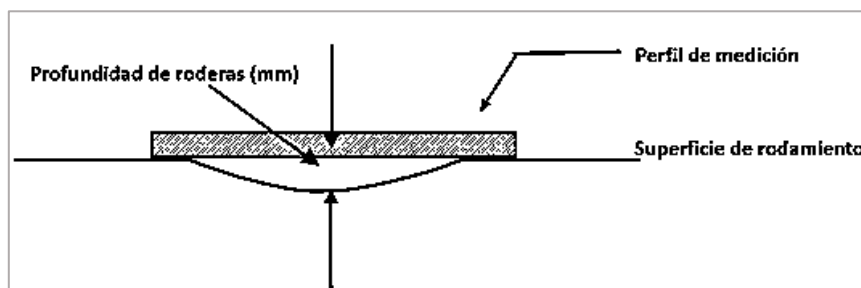


Ilustración 5. Esquema de una rodera

El estado físico del pavimento se calificará en función de la Profundidad de Roderas utilizando los intervalos que se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Intervalos de Profundidad de Roderas para la clasificación de los tramos (N-CSV-CAR-1-03-009/16).

Estado	Intervalos de PR mm	
	Autopistas y Corredores Carreteros	Red Básica Libre y Red Secundaria
Bueno	< 5	< 7
Regular	5,1 a 8	7,1 a 9
Malo	> 8	> 9

Coefficiente de Fricción (CF): El CF es un indicador de la capacidad de la superficie del pavimento para proporcionar agarre y tracción a los neumáticos de los vehículos. Un CF adecuado es esencial para garantizar la seguridad vial, especialmente en condiciones climáticas adversas.

La condición superficial de la capa de rodadura del pavimento en función del valor del coeficiente de fricción según el tipo de carretera se clasificará como lo indica la tabla 3.

Tabla 3. Condición superficial de la capa de rodadura del pavimento en función del valor del CF según el tipo de carretera (N.CSV.CAR.1.03.007/20).

	Coefficiente de fricción
Condición de la superficie de rodadura del pavimento	Autopistas, corredores carreteros, red básica libre y red secundaria
No satisfactorio - pulido	0 a 0,40
Aceptable	0,41 a 0,60
Bueno	0,61 a 0,90
No satisfactorio - áspero	> 0,90

Macrotextura (MAC): Es la irregularidad de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana verdadera, con longitudes de onda entre cero coma cinco (0,5) y cincuenta (50) milímetros medidos en el sentido horizontal, a lo largo de un tramo carretero o un conjunto de ellos. La macrotextura se caracteriza por una amplitud de pico a pico que varía normalmente entre cero coma cero uno (0,01) y veinte (20) milímetros. Como medida de la macrotextura se utiliza la profundidad media de la textura estimada (PMTE) del pavimento (N.CSV.CAR.1.03.006/20). Es un parámetro importante para evaluar la resistencia al deslizamiento y el drenaje superficial del pavimento. La clasificación de la condición superficial de la capa de rodadura del pavimento en función del valor de la PMTE según el tipo de carretera es la mostrada en la tabla 4.

Deterioros (DET): Los deterioros son defectos o daños en la superficie del pavimento, como baches, deformaciones, fisuras, grietas y desprendimientos. La evaluación de los deterioros ayuda a determinar las acciones necesarias de mantenimiento y rehabilitación (N.CSV.CAR.1.03.008/23).

Tabla 4. Clasificación de la condición superficial de la capa de rodadura en función de la PMTE (N-CSV-CAR-1-03-006/20)

Condición superficial de la capa de rodadura del pavimento	Valor de la profundidad media de la textura estimada (PMTE) mm	
	Autopistas de cuota y corredores carreteros	Red básica libre y red secundaria
Buena	> 0,90	> 0,80
Regular	0,75 a 0,90	0,65 a 0,80
Mala	< 0,75	< 0,65

Índice de Condición Actual (PCI): El PCI es un indicador global que proporciona una calificación de la calidad general de la carretera en función de todos los parámetros de condición superficial mencionados anteriormente. Se expresa en una escala de 0 a 100, donde 100 representa una carretera en perfectas condiciones y 0 indica una carretera completamente deteriorada.

2.3.2 Parámetros de evaluación de la condición estructural

Estratigrafía y calidad de materiales: Este parámetro evalúa la calidad de las capas de pavimento y los materiales utilizados en su construcción. La estratigrafía se refiere a la disposición y características de las diferentes capas del pavimento, mientras que la calidad de materiales se relaciona con la resistencia y durabilidad de los mismos. Este parámetro se evalúa a través de pozos a cielo abierto (PCA).

Deflexiones (DEF): Es la medida de deformación elástica o de recuperación vertical que experimenta un pavimento al paso de una carga. Es función tanto del tipo y estado del pavimento como del método y equipo de medición, así como de la temperatura y humedad presentes en el pavimento. Su medición se realiza en forma no destructiva y se utiliza para relacionarla con la capacidad estructural del pavimento, los rangos de medición se muestran en la ilustración 6. Se miden utilizando equipos especiales llamados deflectómetros donde se obtiene la deformación elástica de la superficie de un pavimento medida a distancias variables con respecto al punto de aplicación de la carga denominada cuenca de deflexiones.

Rangos de valores representativos de deflexiones mm		
Condición estructural	Autopistas y Corredores Carreteros	Red Básica y Secundaria
Buena	0 a 0,4	0 a 0,50
Regular	—	> 0,50 y ≤ 0,80
Mala	> 0,4	> 0,80

Ilustración 6. Rangos representativos de deflexiones a 700 Kilopascales y 20°C. (N.CSV.CAR.1-03.010/17).

La combinación de la evaluación de la condición superficial y estructural proporciona una visión completa del estado de las carreteras, permitiendo una gestión más eficiente de la red vial.

2.4 Esquemas de contratación

Los esquemas de contratación en obra pública en México son fundamentales para la ejecución eficiente y transparente de proyectos de infraestructura financiados con recursos públicos. Estos esquemas determinan cómo se adjudican, gestionan y supervisan los contratos entre el sector público y los contratistas privados. A lo largo de los años, han evolucionado para adaptarse a diferentes necesidades y desafíos, buscando mejorar la calidad de las obras, controlar costos y promover la participación equitativa de los participantes en el proceso de licitación.

2.4.1 Esquemas de Contratación de Obra Pública en México

En la obra pública, existen diversos esquemas para contratar una obra, que pueden variar según la forma y el tipo de licitación. La ley indica que las contrataciones pueden realizarse mediante asignación directa, invitación a por lo menos tres personas, licitaciones públicas nacionales y licitaciones públicas internacionales. Además de estos métodos, hay esquemas en los que los contratos tienen características diferentes, lo que permite evaluar la infraestructura de manera distinta según la forma de contratación (Soto Espitia, 2023).

En los años ochenta y noventa, la forma en que se contrataban las obras públicas era muy distinta a la actual, ya que no existían los modelos de contratación que tenemos hoy en día. Aunque hoy no solo contamos con los esquemas tradicionales, las alternativas modernas se basan principalmente en mantener altos estándares de desempeño en las vías, como pueden ser las vías concesionadas, el aprovechamiento de activos carreteros y los proyectos de prestación de servicios. Anteriormente, existió un esquema de contratos plurianuales de conservación carretera (CPCC). En la actualidad se cuenta con las asociaciones público-privadas (APP) y los contratos de mantenedor-rehabilitador-operador (MRO) (Soto Espitia, 2023).

Tabla 5. Algunos esquemas de contratación de obra pública en México.

ESQUEMAS DE CONTRATACIÓN	
1	Vías Concesionadas (carreteras o vialidades)
2	Aprovechamiento de Activos Carreteros
3	Proyectos de Prestación de Servicios (PPS)
4	Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras (CPCC)
5	Asociaciones Público - Privadas (APP)
6	Contratos de Mantenedor - Rehabilitador – Operador (MRO)

Como se muestra en la tabla 5, los esquemas de concesión en México han evolucionado, permitiéndonos evaluar la calidad de cada uno a lo largo de los años. A diferencia de los contratos convencionales bajo la ley de obra pública, donde se diseña, construye y conserva por separado, los nuevos esquemas integran la ingeniería y la conservación desde el inicio, considerando costos a largo plazo. Por ejemplo, en concesiones, se eligen materiales de mayor calidad y se emplean nuevas tecnologías que permiten una mayor durabilidad en los pavimentos.

Las asociaciones público-privadas (APP) son especialmente útiles en países en desarrollo, donde los recursos son limitados. Estos modelos permiten la participación del sector privado en la infraestructura, transfiriendo parte del riesgo y obteniendo beneficios mutuos. El sector privado obtiene rentabilidad, mientras que el gobierno puede dotar de infraestructura sin comprometer su presupuesto.

A continuación, se presentan en la tabla 6 algunos de los esquemas más relevantes de contratación de obra pública en México, junto con sus características principales.

Tabla 6. Características de los principales esquemas de contratación de obra pública en México (Cal y Mayor, 2023) (Soto Espitia, 2023).

Esquema de Contratación	Características Principales	Año de Implementación	Ventajas	Desventajas	Duración de contrato
Vías Concesionadas (Concesiones puras o autofinanciables)	Contrato de largo plazo entre una entidad de gobierno y una empresa privada con el objetivo de construir, operar, conservar, mantener y explotar carreteras en las que se cobra una tarifa a través de la cual se recupera la inversión realizada. Periodo de concesión definido.	Primeras concesiones en los 90s	Genera inversión privada; reduce carga fiscal inmediata. Optimiza la operación y mantenimiento a largo plazo.	Riesgo financiero para el concesionario. Dependencia de ingresos por peaje.	7 a 30 años
Asociaciones Público-Privadas (APP)	Colaboración entre el gobierno y empresas privadas para proyectos de infraestructura. Riesgos y beneficios compartidos. Inversión privada en infraestructura pública.	A partir de los años 2000s con reformas a la ley.	Mejora en la calidad y eficiencia de los proyectos. Acceso a financiamiento privado.	Complejidad en la estructuración de contratos. Posibles conflictos de interés y dependencia financiera.	10 a 12 años
Proyectos de Prestación de Servicios (PPS)	Esquema de asociación público-privada para modernizar caminos existentes libres de peaje. El proveedor realiza la inversión inicial y proporciona servicios a largo plazo. El gobierno paga un precio predefinido por los servicios. Incluye mantenimiento y operación.	A partir de 2002. Antecedentes 1992 PFI (iniciativa de financiamiento privado) Reino Unido	Permite la participación del sector privado en la provisión de servicios. Reducción de costos iniciales para el gobierno.	Dependencia del proveedor privado para la calidad del servicio. Riesgos de cumplimiento contractual.	10 a 30 años
Aprovechamiento de Activos	En el que se integran paquetes de autopistas de altas especificaciones existentes y autopistas o libramientos de cuota por construir.	Desde los 2010s	Optimiza la utilización de activos existentes y nuevos para maximizar la eficiencia.	Complejidad en la gestión y riesgo de sobreinversión en activos subutilizados.	-
Propuesta No Solicitada	Esquema mediante el cual el sector privado puede presentar al sector público propuestas de proyectos de inversión en infraestructura carretera, para su análisis, y en su caso, efectuar convocatoria al proceso de licitación.	Desde los 2010s	Permite innovación y participación proactiva del sector privado.	Riesgo de falta de alineación con las prioridades gubernamentales sin una supervisión adecuada.	-

Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras (CPCC)	Contratos para el mantenimiento y conservación de carreteras por varios años. El contratista se encarga del mantenimiento preventivo y correctivo.	Implementados en 2005	Estabilidad en el mantenimiento. Mejora continua en la conservación.	Requiere un compromiso financiero y administrativo prolongado. Puede limitar la flexibilidad en el cambio de contratistas.	7 años
Modelo de operación por estándares de desempeño					
El nuevo modelo de operación busca maximizar la calidad del servicio prestado en las autopistas a través del cumplimiento de una serie de indicadores relacionados con la operación y el mantenimiento de los activos. Este esquema contempla dos agentes principales, el "MRO y el AAS"					
Contratos Mantenedor - Rehabilitador - Operador (MRO)	Contratos creados para realizar la operación, mantenimiento y rehabilitación de los activos cumpliendo estándares de desempeño y mantener altos niveles de servicio. Enfocado en la optimización de operaciones y costos.	Desde los 2010s	Integración de servicios en un solo contrato. Mejora en la eficiencia en costos y operación.	Complejidad en la gestión y coordinación. Dependencia del contratista para todas las operaciones, riesgo de rendimiento.	7 a 10 años
Contratos Agente Administrador Supervisor (AAS)	El "AAS" Agente Administrador Supervisor, diseñado para gestionar el cumplimiento de los estándares de desempeño, además de apoyar con la planeación y elaboración de Programas Maestros de Desarrollo.	Desde los 2010s	Asegura el cumplimiento de los estándares de calidad y desempeño.	Requiere supervisión constante y gestión detallada.	Su duración se alinea generalmente con la del proyecto que supervisan.
Multianualidad en la Obra Pública en la Infraestructura vial	Contratación de obras que se extienden más allá de un año fiscal, permitiendo una ejecución continua y financiación asegurada.	Variable, aplicado según la necesidad del proyecto y la disponibilidad presupuestaria a largo plazo.	Mejora la planificación y ejecución del proyecto; permite asegurar financiación a largo plazo; potencialmente reduce costos al aprovechar economías de escala.	Compromete presupuestos futuros, lo que puede limitar la flexibilidad financiera de gobiernos futuros; riesgo de obsolescencia en tecnología o métodos.	-

2.4.2 Contratos tradicionales vs contratos basados en el desempeño

Este apartado se centra entre estos dos tipos de contratos utilizados en proyectos de infraestructura vial.

Contratos Tradicionales: En los contratos tradicionales, los términos y condiciones están detalladamente especificados en cuanto a los procedimientos constructivos, los materiales a utilizar, y las técnicas de ejecución. Estos contratos suelen detallar exhaustivamente cada aspecto del proyecto, desde los materiales hasta las técnicas de construcción, y el contratista se limita a seguir estas especificaciones sin desviarse de ellas. El pago se realiza generalmente sobre la base de las unidades de obra completadas, siguiendo el principio de "cantidad de trabajo hecho".

Ventajas:

- Claridad y previsibilidad en las expectativas y los resultados.
- Facilidad para evaluar y comparar ofertas basadas en costos fijos.

Desventajas:

- Menor flexibilidad para adaptaciones durante el proyecto.
- Innovación limitada por la rigidez de las especificaciones.

Contratos Basados en el Desempeño: Contrariamente, los contratos basados en el desempeño definen resultados o estándares que deben cumplirse sin dictar específicamente cómo deben alcanzarse esos resultados. Esto permite al contratista la libertad de decidir la mejor manera de cumplir con los objetivos del contrato, fomentando la innovación y la eficiencia. El pago en estos contratos está vinculado al cumplimiento de indicadores de desempeño y estándares de calidad.

Ventajas:

- Incentiva la eficiencia y la innovación al permitir a los contratistas elegir los métodos y materiales que cumplan con los estándares de desempeño.

- Potencialmente mejores resultados finales al centrarse en la calidad y el rendimiento a largo plazo.

Desventajas:

- Requiere una definición clara y medible de los estándares de desempeño, lo que puede ser complejo.
- Puede ser más difícil de gestionar y supervisar, ya que se centra en el resultado más que en el proceso.

Actualmente los contratos basados en el desempeño están tomando una mayor relevancia en proyectos donde la calidad y la función a largo plazo de la infraestructura vial son más críticas. Un contrato basado en el desempeño podría especificar que el pavimento debe mantener ciertos estándares de desempeño durante un periodo prolongado, sin especificar los materiales o las técnicas exactas a utilizar. Este enfoque no solo cambia cómo se planifican y ejecutan los proyectos, sino que también altera la relación entre el cliente y el proveedor hacia una colaboración más estratégica, buscando resultados óptimos a largo plazo más que simples entregas a corto plazo.

2.4.3 Multianualidad en la Obra Pública en Infraestructura Carretera

El esquema multianual de carreteras en México se refiere a un proceso de contratación y ejecución de obras públicas que se extiende más allá de un año fiscal. Este tipo de esquema es especialmente útil para grandes proyectos de infraestructura que no pueden completarse dentro de un solo año presupuestario debido a su envergadura o complejidad técnica. La contratación multianual permite una planificación y financiación más eficaz, asegurando que los proyectos tengan continuidad y los recursos necesarios a lo largo de varios periodos fiscales (Villegas García, 2024).

Este enfoque no solo optimiza la gestión de recursos, sino que también puede inducir a mayor competencia y obtener mejores precios y condiciones para la Administración Pública Federal. Sin embargo, también presenta desafíos como la

posible obsolescencia de la tecnología o servicios contratados y el compromiso de presupuestos futuros que pueden limitar la flexibilidad de las administraciones venideras.

Ventajas del Esquema Multianual

- Flexibilidad Financiera: Permite al estado gestionar sus recursos de manera que se puedan atender las necesidades prioritarias sin comprometer el balance económico general.
- Transparencia y Eficiencia: Facilita la transparencia en las cuentas públicas y promueve una ejecución de proyectos más eficiente al disponer de un financiamiento asegurado a lo largo de varios periodos fiscales.
- Reducción de Costos de Oportunidad: Al invertir en infraestructura a valor presente, se minimizan los costos de oportunidad asociados con la inflación y otros factores económicos que pueden incrementar el costo de los proyectos a lo largo del tiempo.

Rol de los Participantes

- Gobierno: Asume el riesgo de la deuda y la construcción, asegurando que los proyectos se completen conforme a los planes sin afectar negativamente las finanzas públicas.
- Contratistas: Se benefician de un flujo de ingresos estable y previsible, lo que les permite planificar y ejecutar con mayor confianza y eficiencia.
- Instituciones Financieras: Proporcionan el soporte financiero necesario y se benefician de la seguridad de la recuperación de fondos gracias al compromiso del estado.

De acuerdo con lo anterior, los participantes principales incluyen al gobierno, contratistas e instituciones financieras. En el caso de la obra pública estatal, como en el estudio que se verá más adelante, se debe considerar además al congreso, quien colabora en la gestión de recursos para asegurar el éxito de los proyectos. Los efectos de la transversalidad se reflejan en cómo estos esquemas

facilitan la integración de diferentes sectores y jurisdicciones, promoviendo un enfoque más holístico y coordinado para el desarrollo de infraestructura.



Ilustración 7. Rol de participantes en el esquema multianual del Estado de Michoacán para infraestructura carretera (Villegas García, 2024).

2.4.4 Multianualidad en la Obra Pública para infraestructura carretera en el Estado de Michoacán

El gobierno del Estado de Michoacán, a través de la Secretaria de Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP) pone en marcha el Programa de Conservación Multianual de Carreteras en el Estado de Michoacán para el periodo 2023-2027. Este programa tiene por objetivo mejorar la calidad de la red carretera estatal mediante trabajos de rehabilitación, conservación y mantenimiento de las vialidades de mayor flujo vehicular en el estado.

De acuerdo a la (SCOP), las obras multianuales de infraestructura vial del Estado de Michoacán se distribuyen en cinco paquetes carreteros en las regiones:

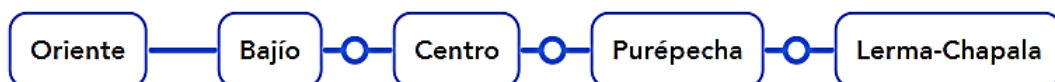


Ilustración 8. Regiones que forman parte de los paquetes carreteros.

Cada paquete se integra como se muestra en la tabla 7. En total se plantea realizar trabajos de rehabilitación, conservación y mantenimiento en 23 tramos de la Red Primaria Estatal, con una longitud total de 1305 kilómetros.

Tabla 7. Activos que forman parte de los paquetes carreteros del programa de conservación multianual del Estado de Michoacán (SCOP, 2024).

TRAMO CARRETERO	TRAMO		LONGITUD (km)	
	De km	A km	Medida	
GRUPO 1 A (Región Purépecha)				
1	Jacona – Peribán	0+000	118+500	118.5
2	Capacuaro - Peribán	0+000	47+400	47.4
3	Libramiento Sur de Briseñas	0+000	1+700	1.7
4	Acceso sur a Peribán	0+000	2+610	2.6
			Longitud (km)	170.2
GRUPO 1 B (Región Lerma - Chapala)				
1	Libramiento Sur de Zamora	0+000	12+200	12.2
2	Cruce por Zamora	0+000	9+650	9.7
3	Tocumbo - Cotija - Puente Jaripo	0+000	57+800	57.8
4	Uruapan - San Juan Nuevo - Tancitaro - Copetiro	0+000	76+260	76.3
			Longitud (km)	155.9
GRUPO 2				
1	Tepalcatepec - Coalcomán	0+000	159+800	159.8
2	Apatzingán - Aguililla	0+000	80+800	80.8
			Longitud (km)	240.6
GRUPO 3				
1	Tiripetío - Carácuaro - Eréndira	0+000	153+600	153.6
2	Tacámbaro - Dr. Miguel Silva - Gabriel Zamora	0+000	119+100	119.1
			Longitud (km)	272.7
GRUPO 4 (Región Oriente)				
1	El Temazcal- Tzitzio - El Limón De Papatzindán	0+000	99+000	99
2	Epitacio Huerta - Tlalpujahuá	0+000	57+800	57.8
3	Entronque Villa Madero - Entronque Tacámbaro	0+000	16+760	16.8
4	San Ana Maya - Lim Edos (Mich/Gto)	4+260	16+360	12.1
			Longitud (km)	185.7
GRUPO 5 A (Región Centro)				
1	Circuito Periférico de Morelia	0+000	26+000	26
2	Ramal Camelinas	0+000	4+520	4.5
3	Zacapu - Villachuato	0+000	43+200	43.2
4	Puruándiro - Pastor Ortiz	0+000	40+880	40.9
5	Erongarícuaro - La Zaramora - Franco Reyes	0+000	29+200	29.2
			Longitud (km)	143.8
GRUPO 5 B (Región Centro)				
1	E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta	0+000	12+860	12.9
2	Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo	0+000	123+230	123.2
			Longitud (km)	136.1
			Longitud Total Intervenida (km) =	1305.0

Para llevar a cabo la definición de la conservación de los paquetes carreteros mencionados, el programa contempla de manera general realizar las siguientes acciones o etapas:

1. Auscultación y Evaluación de los tramos carreteros.
2. Elaboración de Dictamen Técnico.
3. Elaboración y propuesta de Proyecto.
4. Ejecución de las actividades propuestas como alternativas de solución.

Durante la etapa de auscultación y evaluación de los tramos carreteros, se planteó conocer el estado de los activos mediante la medición y obtención de parámetros de desempeño, tales como el índice de regularidad internacional, la macrotextura, la profundidad de roderas, el coeficiente de fricción y la identificación de deterioros. También se buscó recopilar información sobre su condición estructural de los pavimentos a través de la medición de deflexiones y la obtención de datos sobre la estratigrafía y la calidad de los materiales. Con la información recopilada y con ayuda de un sistema de gestión de pavimentos, el software, HDM-4 se siguió el proceso mostrado en la ilustración 9 hasta llegar a la etapa de proyecto, donde se describen las actividades propuestas como “alternativas de solución” que se llevaran a punto en la etapa de ejecución.

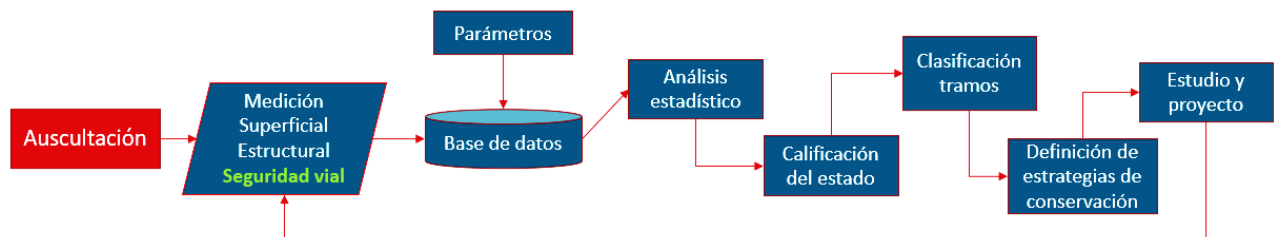


Ilustración 9. Auscultación y evaluación de pavimentos (López Bustamante, 2016).

De acuerdo a la SCOP el programa de Obra Pública Multianual busca brindar capacidad al Estado para atender las necesidades prioritarias y promover la reducción de brechas en materia de infraestructura, desarrollo económico y acceso a servicios públicos mediante proyectos de gran calado sin comprometer el balance y la economía del Estado (Villegas García, 2024). La inversión se realiza a través

de una bolsa aprobada por el Congreso en el ejercicio fiscal de 2023 de 9 mil millones de pesos, los cuales tendrán que ser cubiertos en los ejercicios fiscales 2024, 2025, 2026 y 2027. Hasta el momento, según datos de SCOP, se encuentran comprometidos 2631 millones de pesos para el ejercicio fiscal de 2024. La SCOP destaca como beneficios de este programa los puntos mostrados en la ilustración 10.

- El Estado no se Descapitaliza e invierte en infraestructura a valor presente sin comprometer su balance.
- El Estado se asegura el NO tener que afrontar flujos que comprometan las arcas públicas
- El Contratista se asegura un flujo de ingresos rentable de acuerdo a la inversión va a realizar
- La entidad Financiera que respalda al Contratista, asegura la recuperación de sus fondos
- La entidad Financiera que respalda al Contratista, asegura la recuperación de sus fondos

Ilustración 10. Beneficios del programa de Obra Pública Multianual 2023 en Michoacán (SCOP, 2024).

2.5 Sistemas de gestión de activos

Los sistemas de gestión de activos son una disciplina integral que abarca una serie de actividades relacionadas con la administración efectiva de los activos de infraestructura, incluyendo los pavimentos de las carreteras. Estos sistemas se centran en optimizar la utilización de recursos y garantizar la sostenibilidad y durabilidad de los activos a lo largo del tiempo.

2.5.1 Sistema de gestión de activos para pavimentos

Los sistemas de gestión de activos para pavimentos son una herramienta valiosa para planificar, diseñar, construir, evaluar y conservar la infraestructura vial de

manera efectiva y sostenible. Al enfocarse en objetivos claros y en la utilización óptima de recursos, estos sistemas contribuyen a mantener una red de carreteras en condiciones óptimas, beneficiando a la sociedad, la economía y la seguridad vial. Algunas de las funciones u objetivos clave de los sistemas de gestión de activos para pavimentos son los siguientes:

- **Inventario y Condición de Pavimentos:** Recopilación de datos detallados sobre la ubicación, estructura, materiales y estado actual de los pavimentos.
- **Evaluación del Desempeño:** Utilización de modelos para prever la evolución del estado de los pavimentos bajo diferentes escenarios de uso y mantenimiento.
- **Optimización de Recursos:** Planificación de actividades de mantenimiento y rehabilitación en función del presupuesto disponible y los objetivos de servicio.
- **Análisis Costo-Beneficio:** Evaluación de diferentes estrategias de intervención para determinar la más rentable a largo plazo.

2.5.2 Sistema de gestión utilizados en México

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

El Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP): es una herramienta desarrollada en México para la gestión y conservación de pavimentos de carreteras. Se compone de 7 subsistemas que trabajan de manera integrada para recopilar, procesar y analizar datos relacionados con el estado de los pavimentos y la toma de decisiones para su conservación (Rico Rodríguez, Orozco y Orozco, Téllez Gutiérrez, & Pérez García, 1990). Los subsistemas son:

DATOGEN: Registra datos de ubicación y tránsito, que son fundamentales para entender la carga de tráfico que soporta una carretera.

ISA: Procesa los Índices de Servicio Actual, que son indicadores que evalúan el estado y calidad del pavimento.

CAPES: Procesa deflexiones, que son deformaciones verticales del pavimento que proporcionan información sobre su capacidad estructural.

INVEDET: Maneja un inventario de fallas o deterioros, identificando los problemas y defectos que afectan a los pavimentos.

HISTOREP: Registra las reparaciones efectuadas, lo que permite hacer seguimiento a las acciones de conservación realizadas.

CARGEOT: Procesa las características geotécnicas de las estructuras de los pavimentos y sus alrededores, proporcionando información sobre los materiales utilizados y la estabilidad del suelo.

REFIN: Procesa la interacción de los resultados de los 6 subsistemas anteriores para llegar a las recomendaciones finales para la conservación de los pavimentos.

A lo largo del tiempo, el SIMAP ha evolucionado y se han agregado nuevas funcionalidades y mejoras. En 1990 se desarrolló la primera fase del SIMAP para iniciar la conservación de carreteras. Luego, en 1993, se incorporó un modelo económico que incluye los costos de operación de los usuarios, lo que permite una visión más completa de los beneficios económicos de las acciones de conservación. En 1995, se desarrolló la segunda fase del SIMAP para hacerlo más eficiente y sencillo de usar para los usuarios y se incluyó el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) como una medida cuantificable del estado del camino.

Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Carretero (SISTER):

En nuestro país fue a partir de 1993 cuando se comenzó a utilizar el modelo de gestión SISTER, desarrollado por una empresa francesa de consultoría y adecuado a las condiciones específicas de las carreteras de México.

El modelo SISTER concibió a la red vial por administrar con base en un banco de datos y definir una estrategia óptima de mantenimiento a partir de simulaciones de las consecuencias de varias alternativas de acción, lo que hacía posible evaluar técnica y económicamente cada una de las alternativas.

La originalidad de SISTER radicaba en el hecho de que definía simultáneamente los trabajos de mantenimiento ligados a una estrategia dada y sus efectos sobre la degradación de los pavimentos de las carreteras, tanto en la estructura como en la superficie, estableciéndose así la crónica de los trabajos y la degradación.

De ahí que el punto de partida para su implementación fuera la creación de un banco de datos viales que permitía conocer la red carretera a cargo de la oficina respectiva, lo que se lograba a través de un inventario preferentemente a pie de las carreteras geométricas y del drenaje de las carreteras, con el que se obtenían, entre otros datos, su sección, número de carriles, señalamiento, obras de drenaje, etc., agrupándolos por tramos con ciertas condiciones de homogeneidad, como eran las características geométricas y topográficas, los niveles de tránsito, el estado físico del pavimento y la zona geográfica en que se encontraban. Estos datos y características constituían un subsistema de administración de pavimentos dentro del modelo SISTER (Escalante Sauri, La experiencia reciente en la conservación de carreteras en México, 2000).

El HDM-4 (Highway Development and Management): es un modelo de análisis y gestión de carreteras ampliamente utilizado a nivel internacional. Esta herramienta proporciona un enfoque sistemático y completo para evaluar el desempeño de las carreteras, pronosticar su deterioro y determinar las alternativas de inversión más adecuadas para la conservación a largo plazo (PIARC, 2024). A continuación, se describe cómo se utiliza el HDM-4 para este propósito:

Determinación del estado actual de la red de carreteras: El HDM-4 permite evaluar el estado actual de la red de carreteras mediante el análisis de los parámetros de desempeño, como el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), las deflexiones y otros indicadores de condición superficial y estructural. Estos datos se utilizan para calibrar y validar el modelo y obtener una representación precisa del estado de la infraestructura vial.

Pronóstico del deterioro: Una vez que se ha evaluado el estado actual de la red, el HDM-4 utiliza modelos matemáticos y estadísticos para prever el deterioro futuro de las carreteras en función de diferentes escenarios de tráfico, clima y mantenimiento.

Estos pronósticos son fundamentales para entender cómo se deteriorarán las carreteras con el tiempo y para identificar áreas prioritarias para la conservación.

Análisis de alternativas de inversión: El HDM-4 permite simular y comparar diferentes estrategias de inversión y acciones de conservación a lo largo del tiempo. Esto incluye opciones de mantenimiento rutinario, periódico y de rehabilitación. El modelo evalúa el impacto de cada alternativa en el estado de las carreteras, los costos de inversión y los beneficios esperados en términos de calidad, seguridad y eficiencia.

Evaluación de impacto y beneficios: El HDM-4 también es capaz de evaluar el impacto económico y social de las intervenciones de conservación a largo plazo. Esto incluye el análisis de los costos totales de conservación a lo largo del tiempo, los ahorros derivados de la prevención de daños mayores y los beneficios económicos asociados con una infraestructura vial en buen estado.

2.5.3 Aspectos relevantes del HDM-4 en la investigación

El software HDM-4 toma relevancia en esta investigación, ya que fue la herramienta utilizada por la SCOP para llevar a cabo el análisis, la planificación, gestión y evaluación del mantenimiento, mejora y la toma de decisiones relacionadas con la inversión de las carreteras del programa multianual de obra pública para infraestructura en Michoacán. Los aspectos relevantes que tuvo este software en el proyecto son los siguientes:

- La calibración del modelo utilizando datos reales de la infraestructura vial y parámetros de desempeño medidos en campo.
- La simulación de diferentes escenarios de intervención en la etapa de ejecución, incluyendo acciones de mantenimiento, rehabilitación y mejoras.
- La comparación de los resultados de cada escenario para identificar la estrategia más eficiente y efectiva para mejorar la calidad y durabilidad de las carreteras.
- La estimación de los costos de inversión y los beneficios esperados a lo largo del tiempo para justificar las intervenciones propuestas.

CAPÍTULO III

3. ESTADO DEL ARTE

Este capítulo, tiene como objetivo explorar las investigaciones más recientes y relevantes sobre los programas multianuales de conservación de carreteras. Se enfocará en identificar las metodologías aplicadas a contratación multianual, principalmente en el uso de tecnologías como los sistemas de gestión de activos para pavimentos, los resultados y las lecciones aprendidas a nivel nacional e internacional. Además, se examinarán publicaciones o investigaciones que aporten información acerca de la eficiencia de las actividades ejecutadas durante la puesta a punto, con el fin de proporcionar una base sólida para futuras investigaciones en este ámbito.

3.1 Contexto Histórico y Actual

La conservación de carreteras en México ha experimentado diversas transformaciones a lo largo de los años, reflejando tanto los cambios en la política nacional como las evoluciones en las prácticas de ingeniería y mantenimiento. Originalmente, las actividades de conservación estaban predominantemente reactivas, centradas en reparaciones puntuales que no siempre seguían un plan sistemático o estratégico. Esta aproximación resultaba frecuentemente en soluciones de corto plazo que no abordaban las causas subyacentes del deterioro vial. Sin embargo, desde mediados de la década de 1990, se observó un cambio paradigmático hacia la contratación multianual y la participación creciente del sector privado en estas tareas.

Un documento síntesis elaborado en 1996 por el Consejo de Directores de Iberia e Iberoamérica destacó esta transición, identificando tendencias comunes en la región que incluían la disminución de la conservación por medios propios y un aumento en la participación de las empresas privadas. Este cambio buscaba no sólo

mejorar la eficiencia en los trabajos de conservación sino también racionalizar las estructuras administrativas y asegurar una mayor certidumbre en la disponibilidad de insumos (Escalante Sauri, 2000).

3.1.1 Implementación de la Contratación Multianual

De acuerdo con una publicación que realizó (Escalante Sauri) en el año 2000, La Dirección General de Conservación de Carreteras de México, tras estudiar diversos aspectos técnicos, administrativos, financieros y legales, implementó un programa de contratación de la conservación con carácter multianual. Este esquema comenzó oficialmente en 1996 y se expandió rápidamente. En su primer año, se contrató la conservación rutinaria en 29 centros SCT mediante 62 licitaciones, abarcando 8,752 km de carreteras, lo que representó un 39% de la red federal básica.

Este enfoque permitió no solo asegurar recursos y continuar con los trabajos de conservación necesarios sino también integrar a pequeñas empresas en el sector, las cuales comenzaron a especializarse en los trabajos de conservación. Esto marcó un contraste significativo con el pasado, donde las empresas constructoras empleaban personal solo durante ciertos períodos del año. La modalidad multianual facilitó empleo más estable y con mayor certidumbre para los trabajadores de estas empresas.

3.1.2 Resultados y Evaluación de la Efectividad

Los resultados de este cambio han sido notablemente positivos. Los trabajos contratados demostraron tener tanta calidad como los realizados por administración directa, y los costos asociados fueron menores. Para fines de la década de 1990 y principios del 2000, la experiencia con la contratación multianual había sido tan exitosa que se expandió aún más. Entre 1998 y 2000, se realizaron 47 licitaciones adicionales, y en el período de 1999 a 2000, se realizaron 59 licitaciones más, sumando un total de 26,930 km de carreteras bajo conservación periódica hasta el final de la administración en turno.

3.1.3 Evolución del Estado Físico de la Red Federal de Carreteras Libre de Peaje (1994-2013-2018)

En un contexto histórico y más actual de la conservación de carreteras en México, en las ilustraciones 11 y 12 se observa un claro movimiento hacia una gestión más eficiente, económica y estratégicamente viable, gracias a la implementación de esquemas de contratación multianuales y la participación activa del sector privado. Esta evolución no solo ha mejorado la calidad y la cobertura de la conservación de carreteras, sino que también ha fortalecido la economía local mediante la integración y estabilización de pequeñas empresas especializadas en este sector.

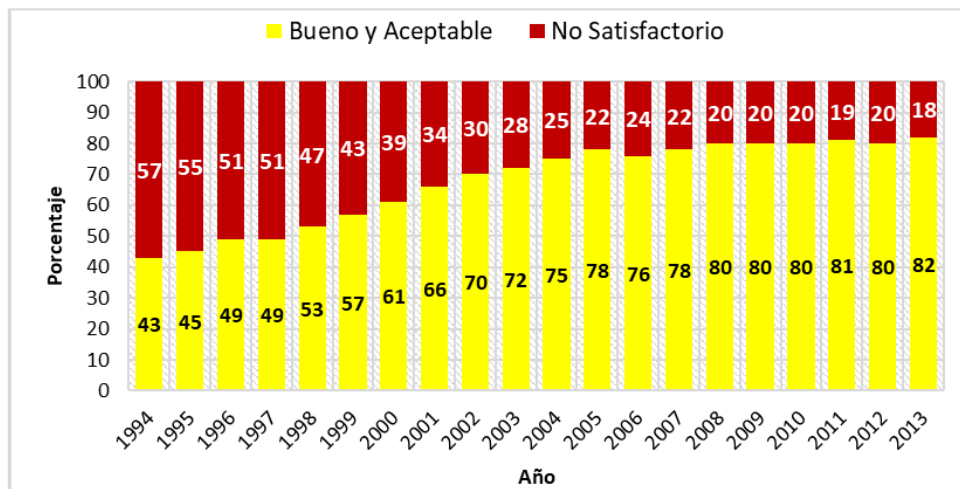


Ilustración 11. Evolución del Estado Físico de la Red Federal de Carreteras Libre de Peaje (1994-2013-2018) (Soto Espitia, 2023).

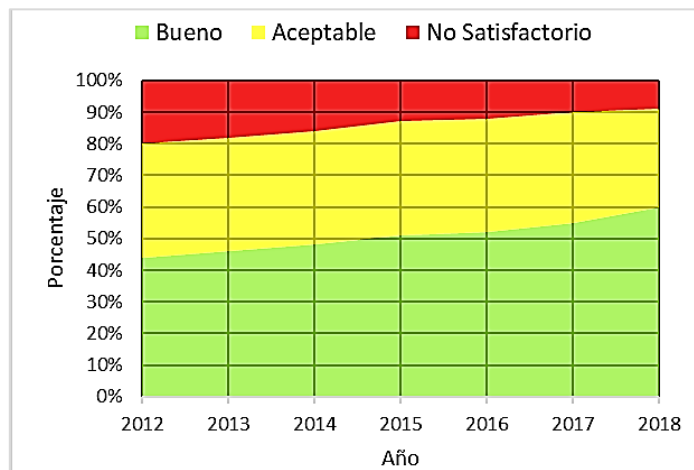


Ilustración 12. Evolución del Estado Físico de la Red Federal (2012–2018) (Soto Espitia, 2023)

3.2 Estudios Relevantes

Varios estudios han evaluado la efectividad de los programas multianuales de conservación de carreteras. A continuación, en la tabla 8 se presentan algunos estudios clave.

En la revisión de los documentos mencionados en la Tabla 8, se identificaron diversos enfoques y metodologías utilizados para abordar la conservación de carreteras. Dos informes técnicos del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C. analizan el mantenimiento, rehabilitación y operación de autopistas en las regiones noreste (2019) y sureste (2020) de México. Estos informes utilizan un modelo de operación basado en estándares y evalúan los beneficios sociales y económicos de los programas a 10 años.

Las tesis profesionales de los M.I. Gerardo López Bustamante y Rogelio Ávila Correa aplican el modelo HDM-4 para evaluar la conservación de carreteras en tramos específicos. Ambos estudios incluyen la recopilación de datos técnicos y económicos, y utilizan el análisis económico para determinar programas de conservación y optimización de costos. Mientras que López Bustamante (2016) se enfoca en el análisis integral de acciones de conservación en el Contrato Plurianual de Conservación de Carreteras Michoacán, Ávila Correa (2006) aplica el HDM-4 a la carretera Jiquilpan-Límites de Michoacán y Jalisco. Ambas investigaciones se limitan a evaluar el estado de los pavimentos y a proponer alternativas de solución hasta la etapa de proyecto, es decir, miden parámetros de desempeño para conocer el estado de los tramos carreteros, realizan las acciones de conservación, pero ya no evalúan la etapa de ejecución ni los resultados de las propuestas.

La tesis de maestría de Simón Rojas Liz Mabel (2019) propone un modelo de gestión de conservación vial para reducir costos de mantenimiento en la carretera Dv. Rio Seco – Oyón. Utiliza un enfoque inductivo y no experimental, aplicando el modelo al tramo mencionado.

La publicación técnica del Instituto Mexicano del Transporte, realizada por Mendoza Diaz A., Duran Hernández G. y Mayoral Grajeda, E., describe la aplicación del

Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP) a la red de carreteras federales de Puebla (1990). Utiliza el módulo técnico y económico del SIMAP para el análisis y programación de conservación. Al igual que las investigaciones realizadas con el software HDM-4, solo cubren hasta la etapa de proyecto y no evalúan los resultados durante y después de la etapa de ejecución.

En el informe de la Asociación Mundial de la Carretera resalta la importancia de la conservación de carreteras a nivel mundial y su impacto en la economía y bienestar social. Se enfoca en la relación entre la conservación adecuada y el valor patrimonial de las redes viales. La guía técnica para la conservación de carreteras en México de la Asociación Mundial de la carretera proporciona lineamientos y estándares para la ejecución de actividades de conservación y gestión de carreteras.

En conclusión, cada investigación aborda diferentes aspectos de la conservación de carreteras, utilizando enfoques y metodologías variadas para analizar y optimizar los programas de mantenimiento y rehabilitación. Los informes técnicos y tesis aplican modelos específicos para evaluar el desempeño de las carreteras y la eficiencia de las acciones de conservación, pero la evaluación de la eficiencia la realizan de forma predictiva a través de sistemas de gestión de activos. La combinación de estos enfoques y metodologías proporciona una visión integral sobre cómo mejorar la conservación de las carreteras en diferentes contextos.

Como se observa en la comparativa realizada, las investigaciones se centran en modelos predictivos que realizan su análisis a través de sistemas de gestión de activos. La información sobre el cumplimiento o eficiencia de las propuestas se ve limitada, ya que las investigaciones abarcan solo hasta las etapas de auscultación y evaluación de los pavimentos, elaboración de dictamen técnico y propuestas de alternativas de solución para la conservación vial en la etapa de proyecto, dejando una falta de certeza al no evaluar si las actividades llevadas a punto durante la etapa de ejecución fueron eficientes y cumplieron con los estándares de desempeño propuestos en las bases de proyecto.

Tabla 8. Revisión del Estado del Arte (Elaboración propia).

Autor	Tema	Documento	Enfoque	Metodología	Etapas para la definición de la conservación			
					Auscultación y evaluación	Dictamen técnico	Proyecto	Ejecución
Gerardo López Bustamante (2016)	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	Sistema de Gestión de Activos	Análisis con el sistema HDM-4	✓	✓	✓	✗
Rogelio Ávila Correa (2006)	Aplicación del HDM-4 en la gestión de la Conservación de la carretera Jiquilpan - Límites de Michoacán y Jalisco	Tesis	Sistema de Gestión de Activos	Análisis con el sistema HDM-4	✓	✓	✓	✗
Simón Rojas Liz Mabel (2019)	Modelo de gestión de conservación vial para optimizar los costos de mantenimiento en la carretera Dv. Río Seco - Oyón	Tesis	Conservación Vial / Gestión de conservación / Costos de mantenimiento	Técnicas de conservación (explicativa y descriptiva)	✗	✓	✓	✗
Mendoza Diaz, A Duran Hernández, G Mayoral Grajeda, E	Aplicación del SIMAP a la red carretera federal del estado de Puebla, (1990)	Publicación técnica	Sistema de Gestión de Activos	Aplicación del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP)	✓	✓	✓	✗
Cedric Iván Escalante Sauri	Experiencia mexicana en la conservación de carreteras (2000)	Publicación - libro	Sistema de Gestión de Activos	Modelo SISTER para la conservación de carreteras	✓	✓	✓	✗
Asociación Mundial de la carretera	Importancia de la conservación de carreteras (2014)	Informe	Conservación Vial	N/A	✗	✗	✗	✗
Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2014)	Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México	Guía	Conservación vial / Sistema de Gestión de Activos	HDM-4 / SIPUMEX	✓	✓	✓	✗
Banco Nacional de Obras y Servicios Público S.N.C.	Mantenimiento, rehabilitación y operación de las autopistas y puente que integran el paquete sureste concesionado al fondo nacional de infraestructura. (2020)	Publicación	ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO	Análisis con el sistema HDM-4 (CONTRATO MRO)	✓	✓	✓	✓
Banco Nacional de Obras y Servicios Público S.N.C.	Mantenimiento, rehabilitación y operación de las autopistas y puente que integran el paquete noreste concesionado al fondo nacional de infraestructura. (2019)	Publicación	ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO	Análisis con el sistema HDM-4 (CONTRATO MRO)	✓	✓	✓	✓
Propuesta de Investigación 2022-2024	Evaluación de la efectividad de la etapa de Puesta a Punto del programa de conservación Multianual de carreteras de Michoacán.	TESIS	Evaluación de la etapa Puesta a Punto del programa Multianual	Evaluación etapa Puesta a Punto	✗	✓	✓	✓

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

A continuación, se presenta el desglose metodológico que se realizó para cumplir el propósitos y objetivos de la investigación (Ilustración 13). Este plan involucra la revisión del Estado del Arte y cinco etapas principales que contemplan la fase metodológica.

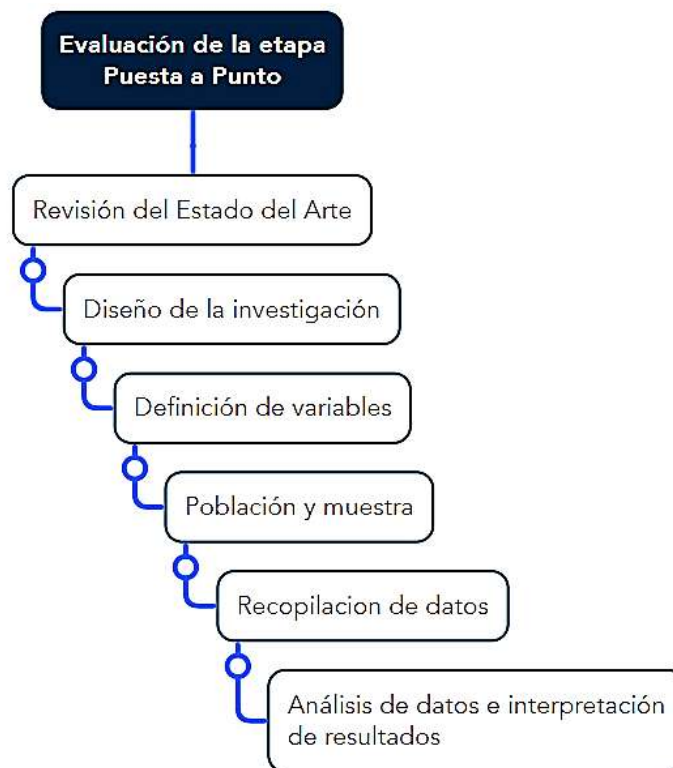


Ilustración 13. Esquema metodológico de la investigación (Elaboración propia).

La revisión del Estado del Arte se describe en el **Capítulo III – Revisión del Estado del Arte**. Este capítulo se enfocará en describir las etapas relativas al diseño de la investigación, la definición de las variables, la selección de la población y muestra, y, por último, la recopilación de datos. La última etapa, “Análisis de datos e interpretación de resultados”, se tratará de manera independiente en un capítulo especial.

4.1 Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación será de tipo cuantitativo, ya que se está buscando medir y evaluar el desempeño de la etapa de puesta a punto de manera objetiva y cuantificable, recopilando datos de los parámetros de desempeño sobre el estado de los tramos carreteros antes y esperados después de la intervención de las actividades llevadas a punto, así como datos relacionados con los costos de operación para determinar la rentabilidad y efectividad de las intervenciones realizadas.

4.2 Definición de variables

En este apartado se identifican y delimitan las variables clave que se medirán en la investigación.

Una vez concluidos los procesos de licitación y adjudicación del programa de "Multianualidad en la Obra Pública en Infraestructura Vial" para el estado de Michoacán, se procedió con las etapas descritas en el apartado "**2.1.5 Etapas para la definición de la conservación**". Durante la primera etapa, denominada "**Auscultación y Evaluación**", se obtuvieron diversos parámetros conforme a la normativa y las especificaciones del contrato. Estos incluyen indicadores de la condición superficial del pavimento, tales como el Índice de Regularidad Internacional (IRI), la Profundidad de Rodera (PR), la Macrotextura (MAC) y deterioros. Además, se recolectaron datos sobre la condición estructural del pavimento, incluyendo deflexiones e información sobre la estratigrafía y calidad de los materiales que componen los pavimentos.

Con el fin de llevar a cabo esta evaluación e informar sobre la eficiencia de las acciones de conservación llevadas a punto, se utilizarán como variables de esta investigación solamente algunos indicadores del estado de los pavimentos. Entre estos indicadores figuran el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y las deflexiones. Indicadores que serán medidos antes y después de las acciones de conservación (Ilustración 14).

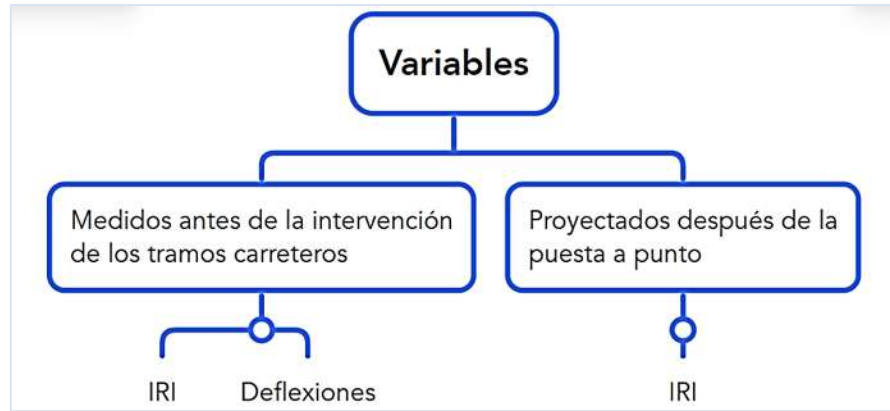


Ilustración 14. Definición de variables (Elaboración propia)

4.3 Población y muestra

La población objetivo de este estudio será el conjunto de tramos carreteros que forman parte del programa de conservación multianual de carreteras en el estado de Michoacán, los cuales están detallados en la tabla 7.

Como muestra, se seleccionaron los activos viales que forman parte del Grupo 5 (Zona Centro). Este grupo se subdivide en dos subgrupos, Grupo 5A y Grupo 5B, compuestos por los tramos carreteros que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Activos viales que forman parte del Grupo 5, Zona Centro (SCOP, 2024).

	TRAMO CARRETERO	TRAMO		LONGITUD (km)
		De km	A km	Medida
GRUPO 5 A				
1	Circuito Periférico de Morelia	0+000	26+000	26
2	Ramal Camelinas	0+000	4+520	4.5
3	Zacapu - Villachuato	0+000	43+200	43.2
4	Puruándiro - Pastor Ortiz	0+000	40+880	40.9
5	Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes	0+000	29+200	29.2
			Longitud (km)	143.8
GRUPO 5 B				
1	E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta	0+000	12+860	12.9
2	Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo	0+000	123+230	123.2
			Longitud (km)	136.1
Longitud Total (km) =				279.9

4.3.1 Ubicación de los activos viales que forman parte del grupo 5

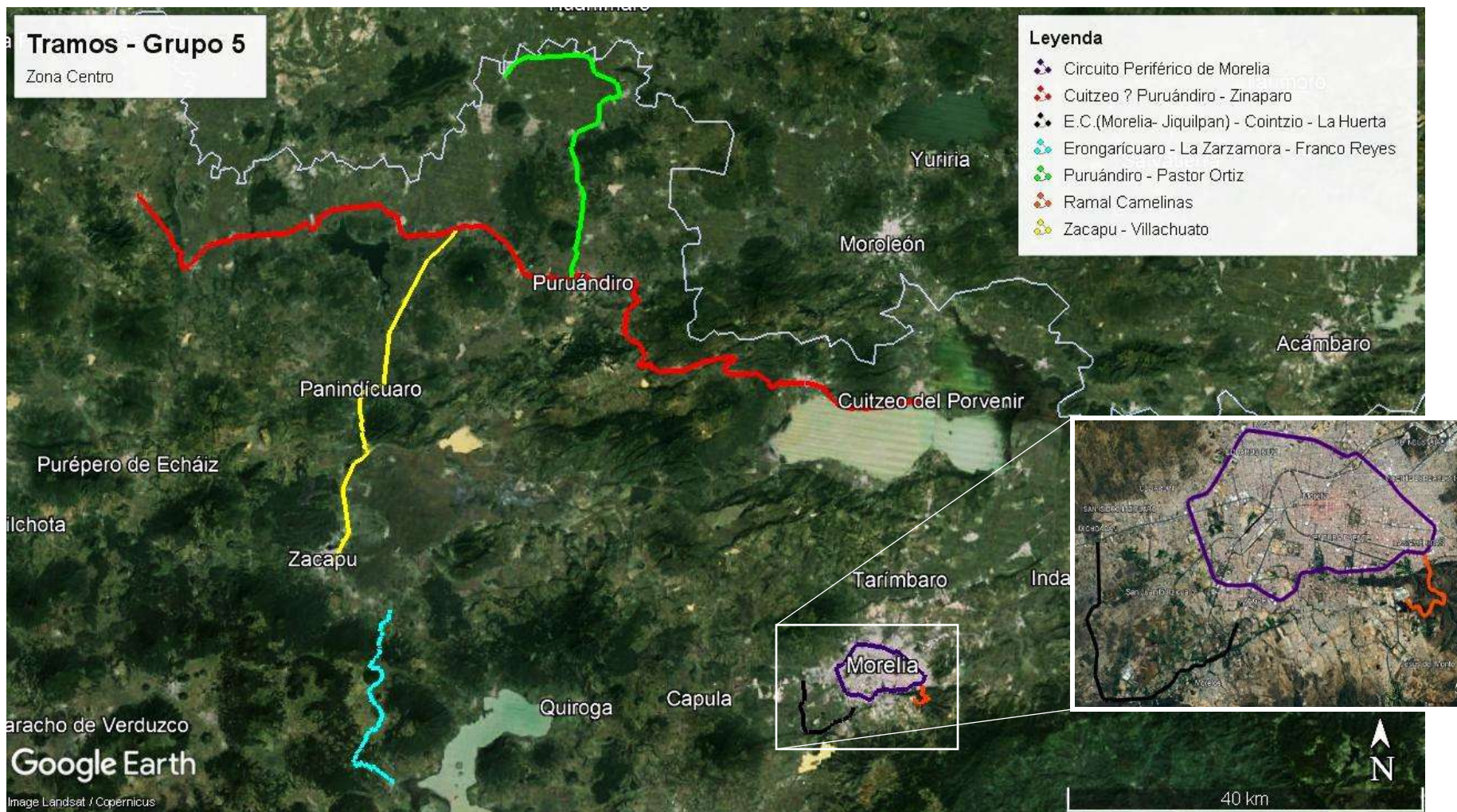


Ilustración 15. Ubicación de los activos viales que forman parte del Grupo 5, Zona Centro (Google Earth Pro, 2024)

En la ilustración 15 se muestra la localización de cada uno de los tramos que forman parte del Grupo 5.

- **Ubicación geográfica Grupo 5A**

1. Circuito Periférico de Morelia

Este activo vial forma parte del municipio de Morelia, Michoacán, y es una importante vialidad que circunda la ciudad de Morelia. Este anillo vial, geográficamente se localiza en las coordenadas UTM 267310.60 m E, 2177241.72 m N, a una altura media sobre el nivel del mar de 1906 m. (Ilustración 16)



Ilustración 16. Microlocalización - Circuito Periférico de Morelia (Google Earth Pro, 2024).

2. Ramal Camelinas

Este activo vial forma parte del municipio de Morelia, Michoacán. Este importante corredor vial tiene como objetivo mejorar la conectividad y la movilidad en la ciudad, particularmente facilitando el acceso a la zona suroriente de Morelia. El Ramal Camelinas conecta el Periférico Paseo de la República, a la altura de la salida a Pátzcuaro, con el Boulevard Juan Pablo II, en la zona de Altozano.

Geográficamente, tiene su origen en las coordenadas UTM 274269.58 m E, 2178297.18 m N, y termina en las coordenadas UTM 273380.74 m E, 2176672.26 m N. (Ilustración 17)



Ilustración 17. Microlocalización – Ramal Camelinas (Google Earth Pro, 2024)

3. Zacapu - Villachuato

Este tramo carretero es una vialidad importante para el estado de Michoacán, ya que conecta las localidades de Zacapu, Villa Jiménez y Villachuato, facilitando el tránsito de personas y mercancías en la región. Es esencial para la economía local, pues conecta áreas agrícolas y zonas industriales con mercados más grandes. Geográficamente, tiene su origen en las coordenadas UTM 208478.68 m E, 2192593.08 m N, y termina en las coordenadas UTM 222533.57 m E, 2229371.87 m N. (Ilustración 18)

4. Puruándiro - Pastor Ortiz

El tramo carretero comienza en la ciudad de Puruándiro, una cabecera municipal importante en la región, y se extiende hasta Pastor Ortiz. Este tramo es esencial para la economía regional, ya que conecta áreas productivas con centros de distribución y consumo. Este activo vial mejora la accesibilidad a servicios

esenciales como educación, salud y comercio, facilitando el desarrollo social y económico de las comunidades aledañas. Geográficamente, tiene su origen en las coordenadas UTM 235646.17 m E, 2223931.68 m N, y termina en las coordenadas UTM 228362.45 m E, 2246331.12 m N. (Ilustración 19)

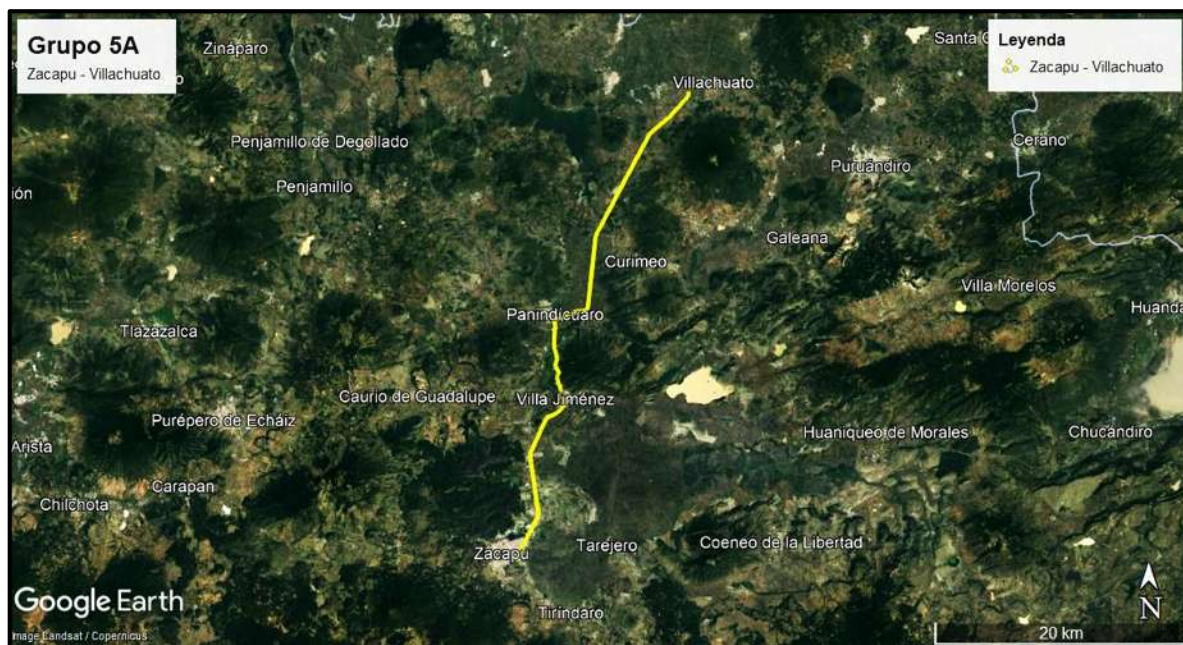


Ilustración 18. Microlocalización – Zacapu - Villachuato (Google Earth Pro, 2024)

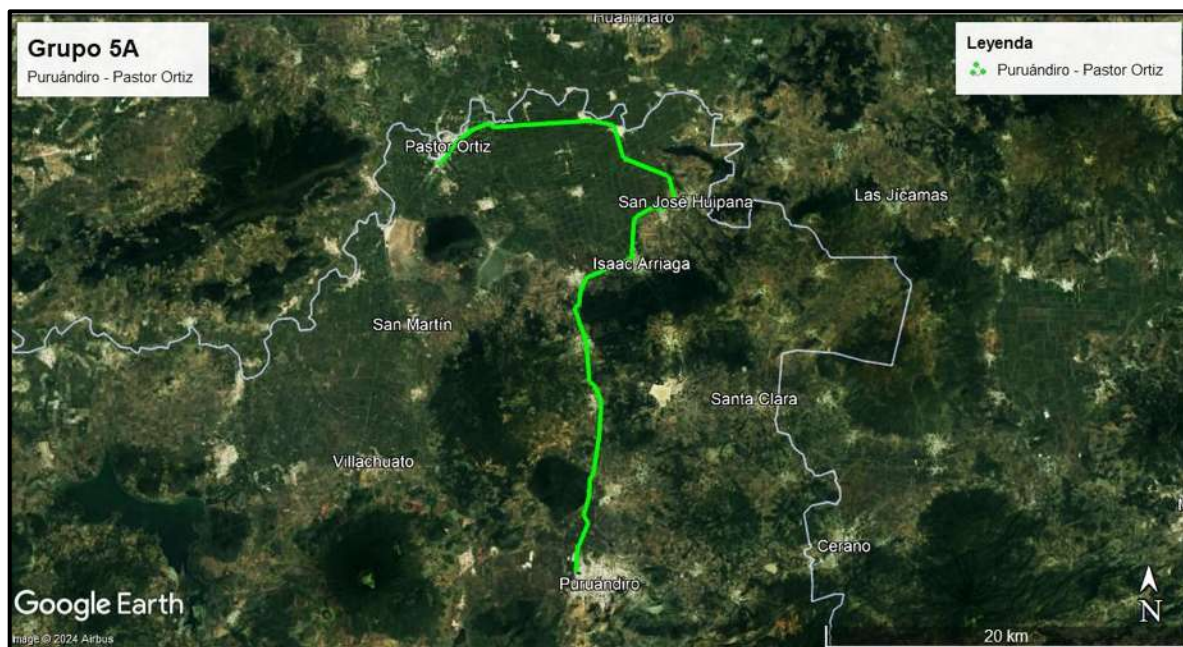


Ilustración 19. Microlocalización – Puruándiro - Pastor Ortiz (Google Earth Pro, 2024)

5. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes

Este tramo inicia en Erongarícuaro, una localidad ubicada en la ribera del Lago de Pátzcuaro, y se extiende a través de las comunidades de La Zarzamora y Franco Reyes. La carretera sirve como una conexión vital entre estas poblaciones, facilitando el acceso a la zona lacustre y a otros centros regionales. Este tramo carretero es utilizado principalmente por residentes locales, agricultores y transportistas de mercancías. Es una ruta importante para el transporte de productos agrícolas, ya que la región es conocida por su producción de cultivos y productos locales. Geográficamente, tiene su origen en las coordenadas UTM 214804.66 m E, 2168455.91 m N, y termina en las coordenadas UTM 214656.13 m E, 2187449.73 m N. (Ilustración 20)

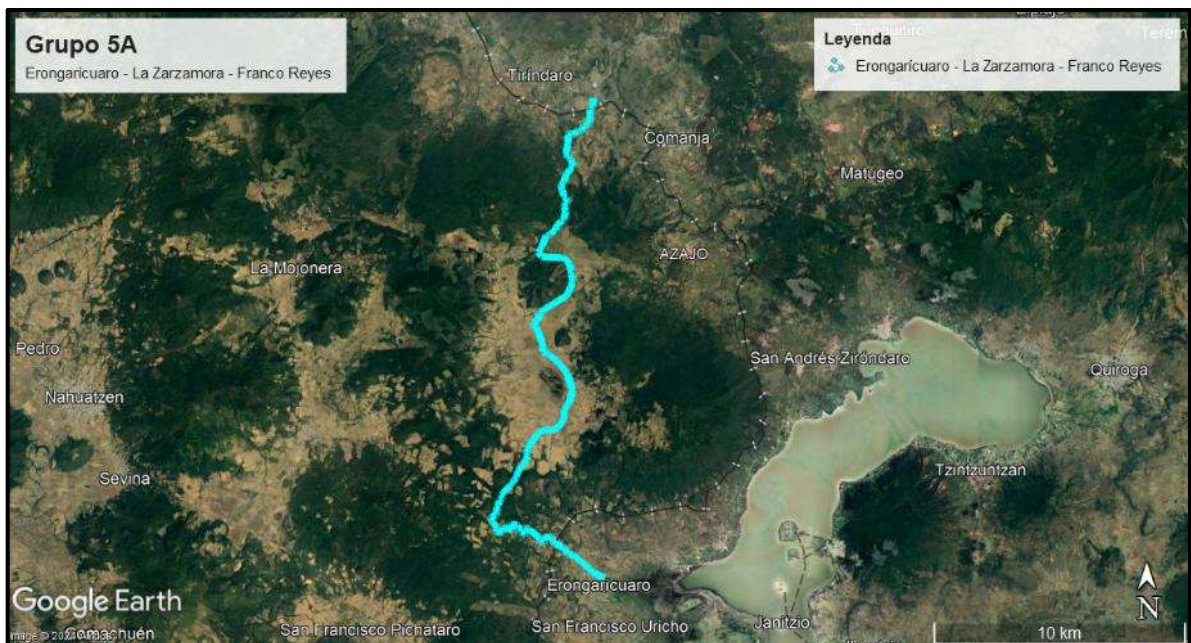


Ilustración 20. Microlocalización - Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes (Google Earth Pro, 2024)

- **Ubicación geográfica Grupo 5B**

6. E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta

Este activo vial forma parte del municipio de Morelia, Michoacán. El tramo comienza en el entronque con la carretera estatal Morelia-Jiquilpan, cerca de la localidad de

Coíntzio, y se extiende hasta La Huerta, proporcionando una conexión esencial para el tránsito local y regional. El tramo carretero es utilizado principalmente por residentes locales, agricultores y comerciantes. Además, es importante para el turismo local, ya que facilita el acceso a áreas de interés natural y cultural. Geográficamente, tiene su origen en las coordenadas UTM 261041.47 m E, 2178910.80 m N, y termina en las coordenadas UTM 266686.73 m E, 2175889.85 m N. (Ilustración 21)

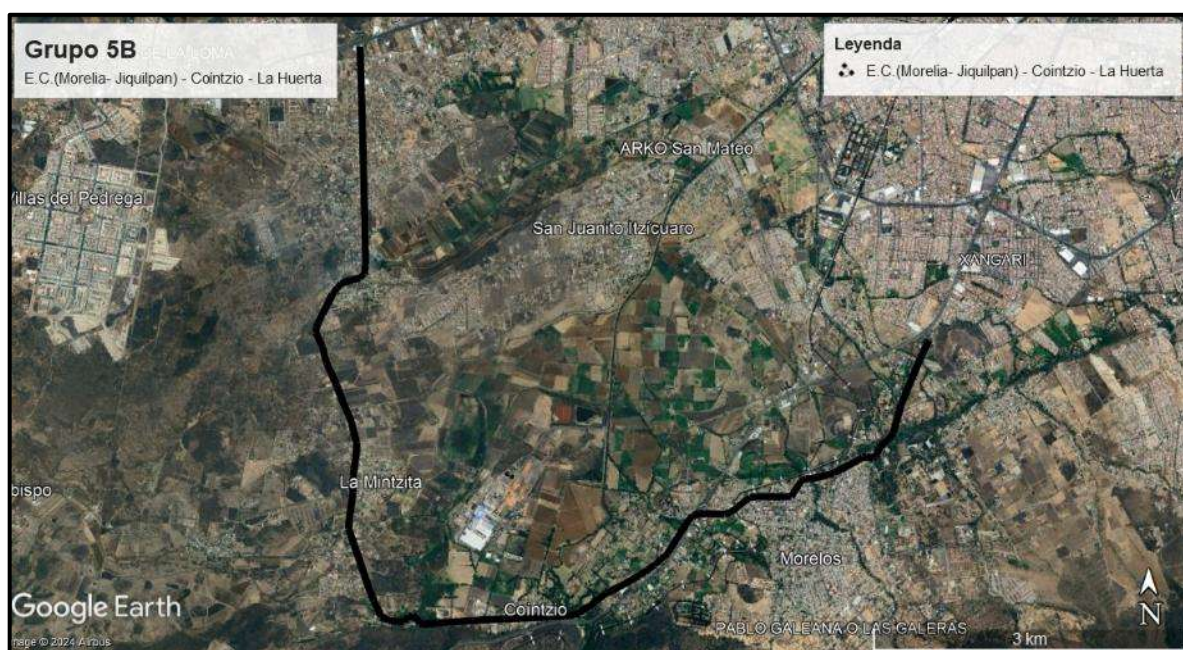


Ilustración 21. Microlocalización - E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta (Google Earth Pro, 2024))

7. Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo

El tramo comienza en la localidad de Cuitzeo, conocido por su ubicación junto al Lago de Cuitzeo, y se extiende a través de Puruándiro, una importante cabecera municipal, hasta llegar a Zináparo. Esta carretera es crucial para la conexión de estos municipios con otros centros urbanos y rurales en Michoacán y estados colindantes. El tramo carretero Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo es esencial para la región central de Michoacán ya que es utilizado intensamente por vehículos de pasajeros y camiones de carga. Es una ruta vital para el transporte de productos agrícolas, industriales y comerciales, conectando productores con mercados locales

y regionales. Geográficamente, tiene su origen en las coordenadas UTM 186695.06 m E, 2233881.67 m N, y termina en las coordenadas UTM 276087.45 m E, 2209482.98 m N. (Ilustración 22)

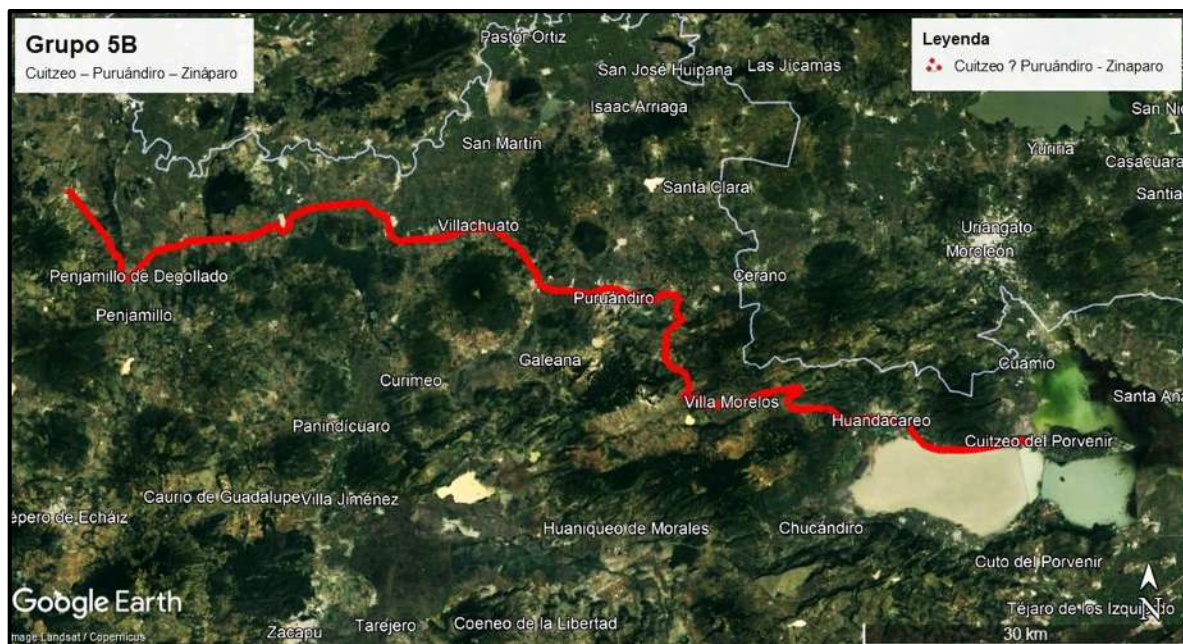


Ilustración 22. Microlocalización - Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo (Google Earth Pro, 2024)

4.4 Recopilación de datos

Para proporcionar contexto a este apartado sobre "recopilación de datos", se considera esencial describir, de manera general, el procedimiento que ha llevado el programa de conservación bajo la modalidad de "Multianualidad en la Obra Pública en infraestructura vial" para el estado de Michoacán. Este procedimiento se ha desarrollado a través de varias etapas clave, iniciando con la licitación.

El Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo, a través de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas del Estado, publicó las convocatorias mostradas en la tabla 10 para participar en los procesos de licitación de obra pública bajo el esquema multianual. La licitación de interés, del grupo 5 (zona centro), es la marcada con el número **SCOP/DCC-OPM/LP/001/2023**, licitación que invita a participar en los trabajos de rehabilitación y conservación.

Tabla 10. Licitaciones para la contratación de Obra Pública bajo el esquema Multianual (SCOP, 2024).

No. De licitación	Tipo de trabajo	Grupo	Descripción general de la obra y ubicación
SCOP/DCC/LP/004/2023	Evaluación y diagnóstico	2	Evaluación y diagnóstico de pavimentos mediante estándares de desempeño para el desarrollo de planes de rehabilitación y mantenimiento, en diversos tramos de la red carretera estatal dentro del grupo 2, con una longitud de 237.3 km.
SCOP/DCC/LP/006/2023	Evaluación y diagnóstico	3	Evaluación y diagnóstico de pavimentos mediante estándares de desempeño para el desarrollo de planes de rehabilitación y mantenimiento, en diversos tramos de la red carretera estatal dentro del grupo 3, con una longitud de 272.70 km. Localidad: Intermunicipal. Municipio: Intermunicipal
SCOP/DCC/LP/008/2023	Evaluación y diagnóstico	4	Evaluación y diagnóstico de pavimentos mediante estándares de desempeño para el desarrollo de planes de rehabilitación y mantenimiento, en diversos tramos de la red carretera estatal dentro del grupo 4, con una longitud de 178.20 km. Localidad: Intermunicipal. Municipio: Intermunicipal
SCOP/DCC-OPM/LP/001/2023	Rehabilitación y conservación	5	Rehabilitación y conservación de los tramos carreteros que componen el Grupo 5: zona centro, en el estado de Michoacán. Localidad: Intermunicipal. Municipio: Intermunicipal.
SCOP/DCC-OPM/LP/003/2023	Rehabilitación y conservación	Purépecha	Rehabilitación y conservación de los Tramos Carreteros que componen el Grupo Purépecha, en el Estado de Michoacán. Municipio Intermunicipal. Localidad Intermunicipal
SCOP/DCC-OPM/LP/004/2023	Rehabilitación y conservación	Lerma - Chapala	Rehabilitación y conservación de los Tramos Carreteros que componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán. Municipio Intermunicipal. Localidad Intermunicipal
SCOP/DCC-OPM/LP/005/2023	Rehabilitación y conservación	Lerma - Oriente	Rehabilitación y conservación de los Tramos Carreteros que componen el Grupo Lerma - Oriente, en el Estado de Michoacán. Municipio Intermunicipal. Localidad Intermunicipal
SCOP/DCC-OPM/LP/006/2023	Rehabilitación y conservación	Oriente	Rehabilitación y conservación de los Tramos Carreteros que componen el Grupo Oriente, en el Estado de Michoacán. Municipio Intermunicipal. Localidad Intermunicipal

Una vez que se publicó oficialmente la licitación y se seleccionó a la empresa contratista que cumplió con los requisitos técnicos y financieros, se pasó al proceso de "Adjudicación del Contrato". Durante este proceso, se formaliza el compromiso con el contratista seleccionado, para que inicie la planificación y posterior ejecución

de los trabajos. Después de la adjudicación de obra, se definieron los trabajos a ejecutar, como se muestra en la tabla 11. Cabe mencionar que, para fines de este estudio, se utilizó únicamente la información recopilada de ciertos trabajos ejecutados que incluyan datos sobre el estado de los pavimentos, el Índice de Regularidad Internacional (IRI), las deflexiones, la información de tránsito, la calidad y estratigrafía de los materiales, y los proyectos de pavimento que incluyan los modelos de conservación propuestos como alternativas de solución. En la ilustración 23 se muestra el proceso de estos trabajos.

Tabla 11. Trabajos a ejecutar (PEPSA, 2023).

No.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO A REALIZAR
1	Descripción del estado actual e informe fotográfico.
2	Estudio de tránsito, incluye aforos de 7 días con contadores automáticos.
3	Estudio de tránsito, usando los datos viales publicados por la SICT
4	Medición de deflexiones a cada 500 m, con equipo de alto rendimiento (FWD).
5	Determinación del índice de Regularidad Internacional (IRI) y Profundidad de Rodera (PR), con perfilómetro láser.
6	Determinación de deterioros y macrotextura con equipo de alto rendimiento e imágenes de alta definición, sobre carril más desfavorable.
7	Estudio Geotécnico del pavimento existente y de bancos de préstamo para pavimentos.
8	Proyecto del pavimento, incluye el modelo de conservación bajo estándares de desempeño, evaluado con HDM-4.
9	Proyecto de señalamiento horizontal y vertical
10	Presupuesto base de los trabajos de reconstrucción y conservación periódica y conservación rutinaria, incluye las partidas de: (1) obras de drenaje, (2) pavimentos, (3) estructuras, (4) señalamiento y dispositivos de seguridad, (5) derecho de vía, así como et programa multianual propuesto
11	Datos para licitación que incluye: (1) Trabajos a ejecutar, (2) especificaciones de obra, (3) catálogo de conceptos, (4) bases de licitación.

A continuación, se presentarán los trabajos realizados para obtener los datos necesarios. Estos incluyeron inspecciones de campo en los tramos seleccionados, tanto antes como después de la etapa de puesta a punto. Para ello, se utilizaron técnicas y equipos específicos para la obtención y medición de las variables y parámetros mencionados en los capítulos anteriores.

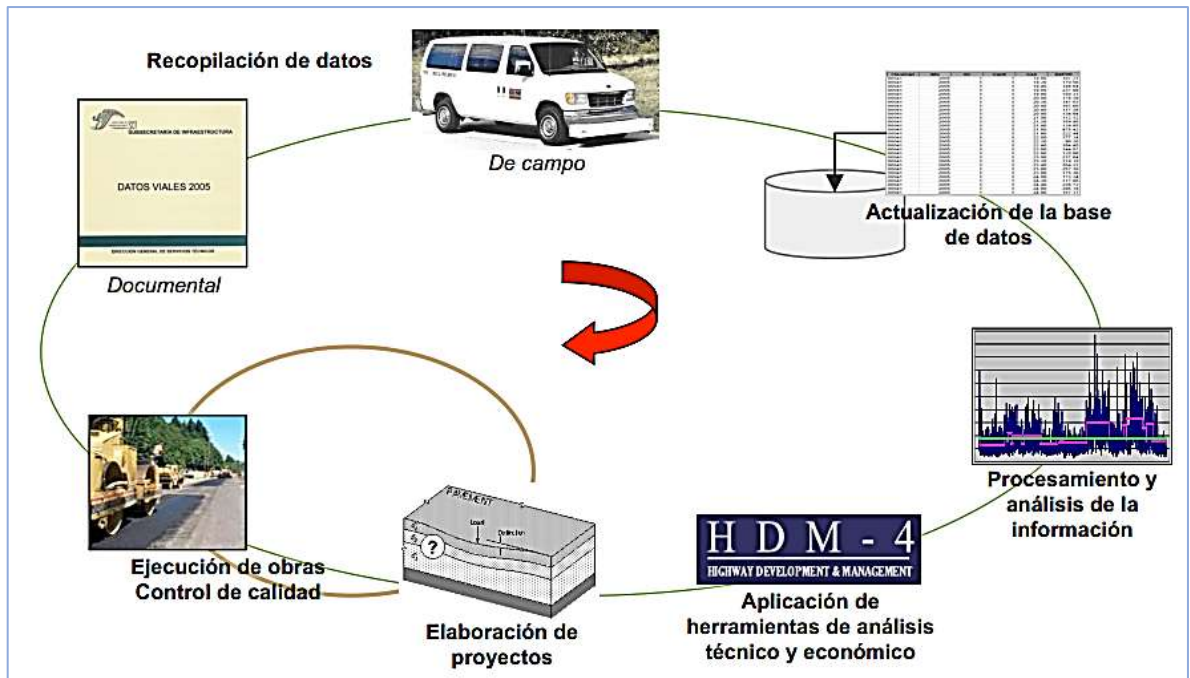


Ilustración 23. Ciclo de trabajos en la gestión de pavimentos (Moreno Fierros , 2013).

4.4.1 Evaluación y diagnóstico

En este apartado, “Evaluación y diagnóstico”, se hace una descripción mediante un reporte fotográfico de los daños y deterioros visuales observados en los activos viales seleccionados, con el objetivo de conocer el estado de los pavimentos antes de la puesta a punto de las actividades de rehabilitación, mantenimiento y conservación.

En la descripción fotográfica (Ilustraciones 25 a 52) se detallan los modelos de deterioro observados en los pavimentos. Para facilitar la comprensión de las observaciones presentadas, en la tabla 12, se incluyen algunos ejemplos de modelos de deterioro, características y causas más comunes. La ilustración 24 presenta un esquema que muestra la interacción entre estos modelos de deterioro. El esquema ilustra cómo, al no atenderse oportunamente un deterioro inicial, como el agrietamiento, este puede progresar y convertirse en problemas más graves, como baches o deformaciones longitudinales (roderas).

Tabla 12. Principales fallas o deterioros en pavimentos flexibles (Guía de Procedimientos y Técnicas para la Conservación de Carreteras en México, 2014).

Tipo de Falla	Descripción	Causas Comunes
Agrietamiento Longitudinal (Falla Funcional)	Rotura longitudinal sensiblemente paralela al eje de la carretera, con abertura mayor de 3mm.	- Gradiente térmico superior a los 30 °C. - Junta longitudinal mal construida. - Uso de asfaltos duros. - Envejecimiento del asfalto.
Agrietamiento Transversal (Falla Funcional)	Rotura transversal perpendicular al eje de la carretera, con abertura mayor de 3mm.	- Gradiente térmico superior a los 30 °C. - Reflejo de grietas en bases rígidas (losas de concreto hidráulico o bases tratadas con cemento Portland). - Uso de asfaltos duros. - Envejecimiento del asfalto.
Agrietamiento en forma de Mapa (Falla Funcional)	Rotura longitudinal y transversal, en forma de retícula, con aberturas de grieta menor de 3mm.	- Uso de asfaltos duros. - Oxidación y envejecimiento del asfalto. - Reflejo de fisuras en bases tratadas con cemento Portland.
Agrietamiento de "Piel de Cocodrilo" (Falla Estructural)	Roturas longitudinales y transversales con separación menor de 15 cm y con abertura de grieta creciente según avanza el deterioro. Generalmente presenta hundimiento del área afectada.	- Fatiga de la capa asfáltica. - Saturación de agua en capas inferiores. - Estructura del pavimento inadecuada. - Uso de asfaltos duros.
Deformación Longitudinal o Rodera (Falla Estructural)	Deformación del perfil transversal por hundimiento en las zonas de canalización del tráfico.	- Capacidad insuficiente de la estructura del pavimento. - Compactación o calidad deficiente de las capas. - Uso de asfaltos blandos. - Uso de agregados redondeados.
Deformación Transversal (Falla Estructural)	Deformación del perfil longitudinal por hundimiento en zonas similarmente distantes entre sí.	- Capacidad insuficiente de la estructura del pavimento. - Compactación o calidad deficiente de las capas. - Uso de asfaltos blandos. - Uso de agregados redondeados.
Desprendimiento de Partículas (Falla Funcional)	Partículas sueltas en la superficie de la capa asfáltica con presencia de agregados parcialmente expuestos fuera de la mezcla asfáltica.	- Mala afinidad del material pétreo con el asfalto - Uso de agregados con tamaño inadecuado. - Segregación de partículas por un mal manejo en la construcción.
Exudación de asfalto (Falla Funcional)	Presencia de asfalto sin agregado en la superficie.	- Exceso de asfalto en la dosificación. - Uso de asfalto blando. - Derrame de solventes.
Migración de finos a la superficie (Falla Estructural)	Finos de la base hidráulica saturada que son expulsados a través de las grietas de la capa superior, por el paso del tráfico pesado.	- Exceso del contenido de finos en la base hidráulica. - Saturación de agua en la base hidráulica.
Bache Superficial (Falla Funcional)	Pérdida de la capa asfáltica de rodadura.	- Falta de adherencia por esparcido heterogéneo del asfalto de liga. - Falta de limpieza en la capa de apoyo. - Colocación con lluvia o presencia de agua en la capa de apoyo. - Compactación deficiente.
Bache Profundo (Falla Estructural)	Pérdida parcial de bloques de la capa de rodadura con hundimiento local y con agrietamiento en malla cerrada (piel de cocodrilo).	- Saturación de agua de las capas del pavimento. - Estructura del pavimento inadecuada. - Materiales heterogéneos en las capas del pavimento. - Defecto constructivo aislado.

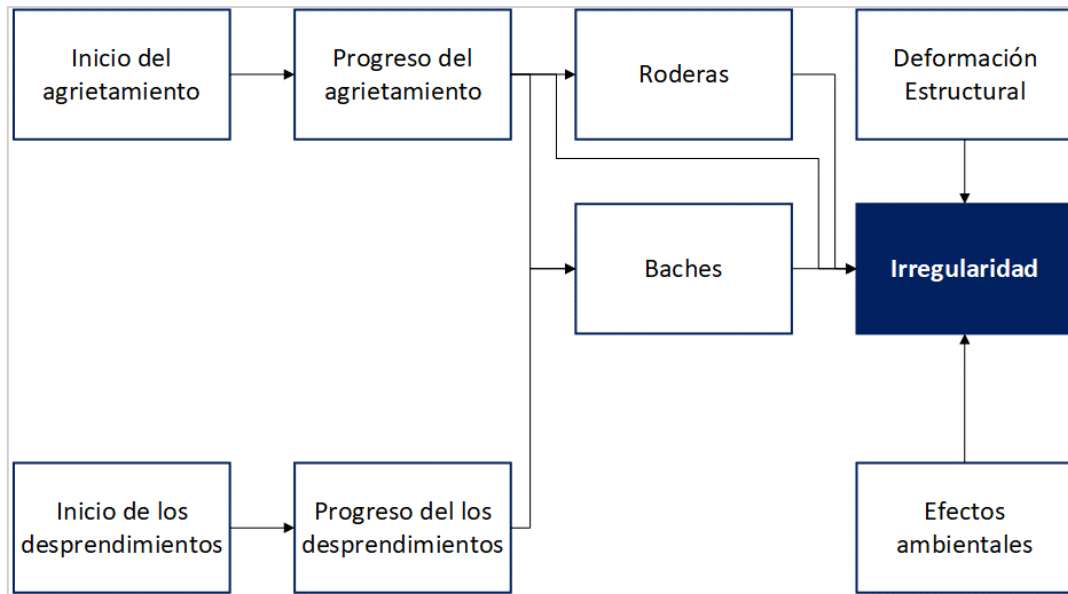


Ilustración 24. Interacción de los modelos de deterioro (Moreno Fierros , 2013)

- **Estado de los pavimentos - Grupo 5A**

1. Circuito Periférico de Morelia



Ilustración 25. Agrietamiento longitudinal km 1+040 (PEPSA, 2023).



Ilustración 26. Desprendimientos, baches y agrietamientos en km 7+620 (PEPSA, 2023).



Ilustración 27. Baches, baches reparados, grietas, deformaciones y desprendimientos en km 11+220 (PEPSA, 2023).



Ilustración 28. Agrietamiento (piel de cocodrilo), baches reparados, desprendimientos y deformaciones en km 22+740 (PEPSA, 2023).

2. Ramal Camelinas

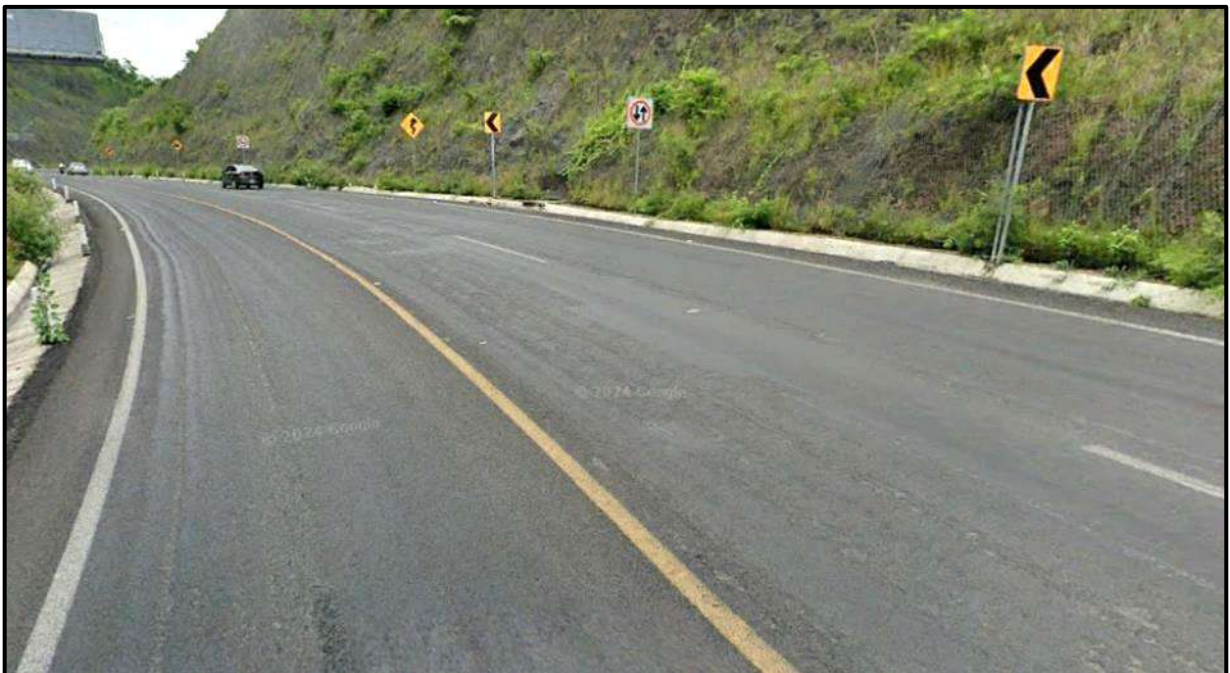


Ilustración 29. No se aprecian deterioros, km 101+420 (PEPSA, 2023).



Ilustración 30. No se aprecian deterioros, km 102+230 (PEPSA, 2023).



Ilustración 31. Ligeras deformaciones verticales y comienzos de agrietamientos en Km 103+620.



Ilustración 32. Baches y agrietamientos longitudinales en km 104+300.

3. Zacapu - Villachuato



Ilustración 33. Baches, agrietamientos longitudinales, transversales, en forma de mapa, desprendimientos y deformaciones en km 1+700.



Ilustración 34. Agrietamientos longitudinales, baches, baches reparados, intemperismo y desprendimientos en km 14+020.

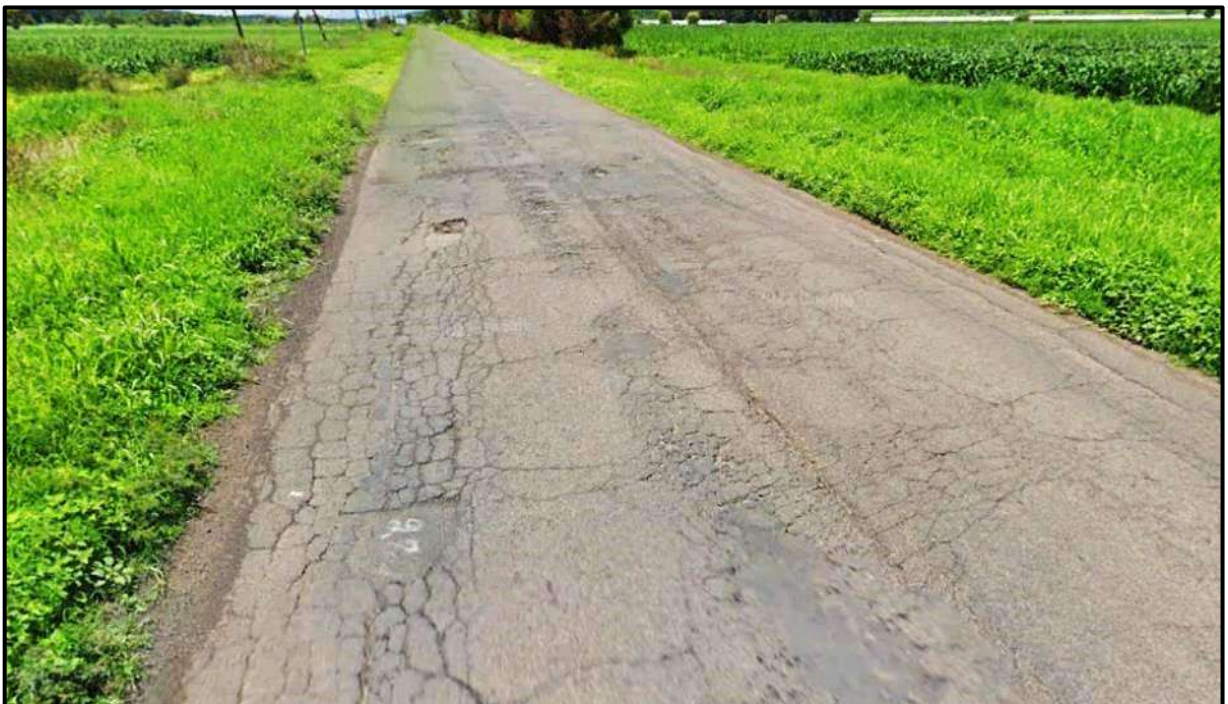


Ilustración 35. Agrietamientos (piel de cocodrilo y en bloque), baches y desprendimientos en km 30+000.



Ilustración 36. Agrietamientos (piel de cocodrilo y en bloque), desprendimientos y baches en km 36+630.

4. Puruándiro - Pastor Ortiz



Ilustración 37. Agrietamiento longitudinal, de piel de cocodrilo, deformación longitudinal y desprendimientos en km 1+520.



Ilustración 38. Agrietamiento y deformación longitudinal, agrietamiento de “piel de cocodrilo” en km 9+540.



Ilustración 39. Agrietamientos y deformaciones longitudinales, agrietamientos de “piel de cocodrilo” en km 20+030.



Ilustración 40. Deformaciones longitudinales, agrietamientos en bloque, longitudinales y transversales en km 32+800.

5. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes



Ilustración 41. Deformaciones longitudinales, baches y agrietamientos en km 14+000.



Ilustración 42. Baches reparados, agrietamientos y deformaciones en km 18+060.



Ilustración 43. Agrietamientos longitudinales y de “piel de cocodrilo”, deformaciones y baches en km 23+040.



Ilustración 44. Baches, desprendimientos, agrietamientos en bloque en km 26+040.

- **Estado de los pavimentos - Grupo 5B**

6. E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta



Ilustración 45. Baches reparados, desprendimientos, deformaciones transversales y longitudinales en km 1+100 (PEPSA, 2023).



Ilustración 46. Baches reparados, desprendimientos, deformaciones verticales y longitudinales en km 2+200 (PEPSA, 2023).



Ilustración 47. Pulimento de agregados, intemperismo, deformaciones y baches reparados en km 4+800 (PEPSA, 2023).



Ilustración 48. Baches, desprendimiento de agregados, grietas en bloque y deformaciones en km 9+400 (PEPSA, 2023).

7. Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo

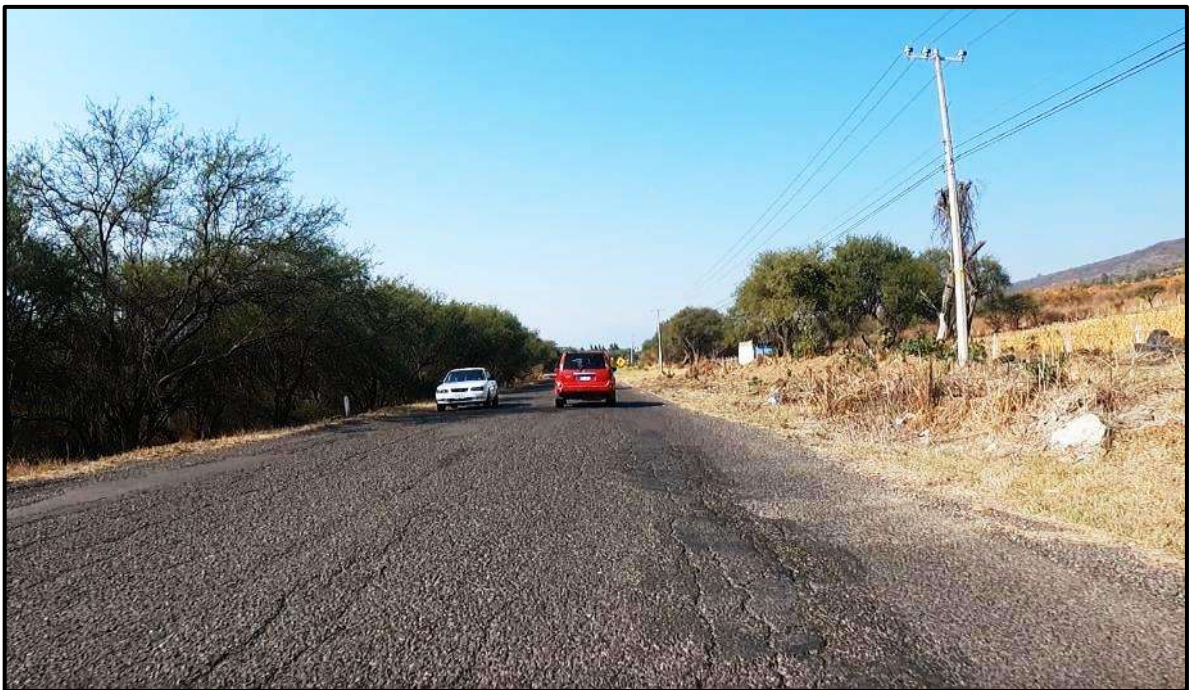


Ilustración 49. Desprendimiento de agregados, grietas y deformaciones en km 3+500 (PEPSA, 2023)

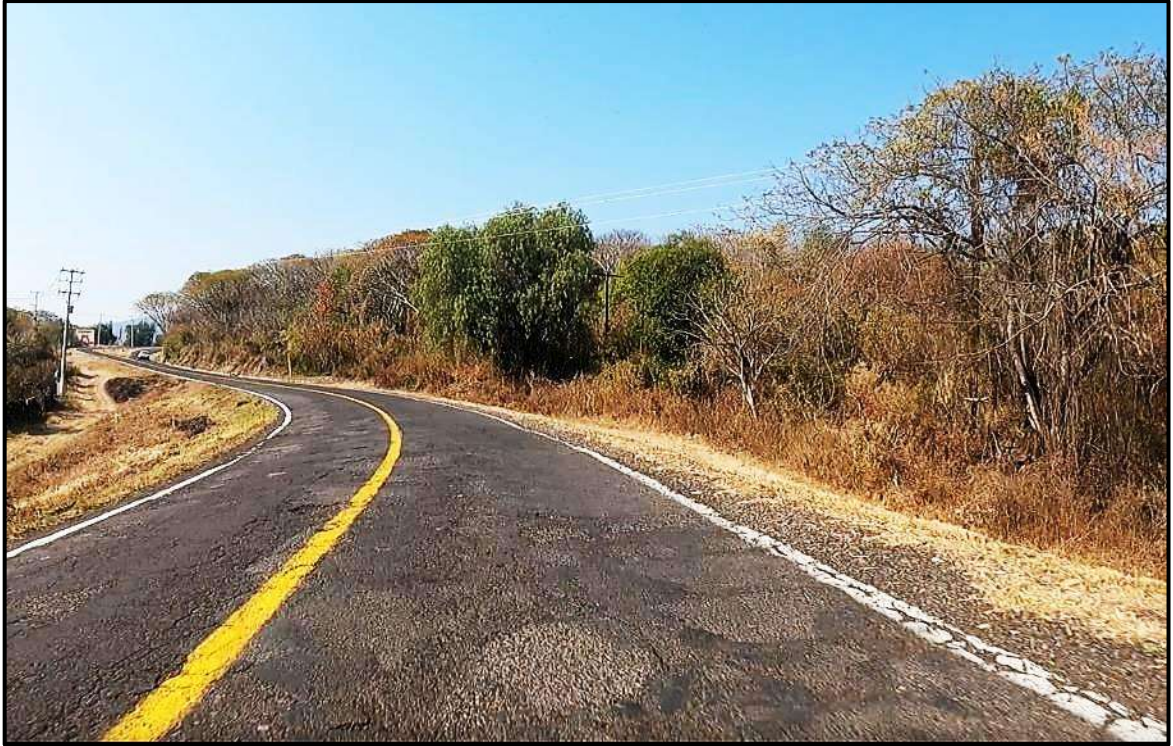


Ilustración 50. Deformaciones, baches, agrietamiento y desprendimientos en km 17+800 (PEPSA, 2023).



Ilustración 51. Intemperismo, desprendimiento de agregados y deformaciones en km 20+000 (PEPSA, 2023).



Ilustración 52. Baches, deformaciones y desprendimiento de agregados en km 36+000 (PEPSA, 2023).

4.4.2 Estudio de tránsito

Este apartado se centra en la recopilación y análisis de datos de tráfico obtenidos a través de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) y de aforos vehiculares realizados a cinco de los siete tramos carreteros que conforman el Grupo 5 (zona centro), aforos realizados durante el mes de febrero del año 2023.

El estudio de tránsito tiene por objetivo proporcionar información sobre el tránsito diario promedio anual (TDPA), el volumen, la composición y las tendencias de crecimiento del tráfico, elementos necesarios para realizar la evaluación de los tramos en estudio.

Para los casos en los que se realizó el aforo vehicular, se llevó a cabo un monitoreo continuo durante 7 días, las 24 horas del día.

A continuación, se presenta los datos obtenidos en el estudio de tránsito:

- **Estudio de Tránsito - Grupo 5A**

1. Circuito Periférico de Morelia

Generalmente, el Periférico de Morelia tiene cuatro carriles (dos carriles en cada sentido) a lo largo de la mayoría de su extensión. Sin embargo, en algunos tramos, especialmente cerca de intersecciones importantes o áreas de mayor tráfico, puede ampliarse a seis carriles (tres en cada sentido). Los carriles suelen tener un ancho estándar de aproximadamente 3.5 metros cada uno. La superficie de rodadura es generalmente de asfalto, aunque existen tramos con concreto hidráulico en algunas zonas. La velocidad de operación varía, generalmente entre 60 y 80 km/h.

Los datos de tránsito para este activo vial se obtuvieron de tres aforos vehiculares y los resultados se muestran en las tablas 13 a 15.

Tabla 13. Aforo vehicular, Circuito Periférico de Morelia, Estación 1: km 4+300 (PEPSA, 2023)

Día (FEB - 2023)	Composición Vehicular							Tránsito Diario
	Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones			
	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	
Lunes	74,602	352	1,978	1,904	191	180	88	79,295
Martes	75,942	407	1,539	1,381	189	254	130	79,842
Miércoles	70,237	323	3,168	1,248	196	270	97	75,539
Jueves	69,204	414	3,198	3,621	231	326	124	77,118
Viernes	78,149	451	1,180	2,034	410	289	175	82,688
Sábado	76,753	282	625	1,460	57	21	2	79,200
Domingo	71,167	176	53	58	5	2	2	71,463

Tabla 14. Aforo vehicular, Circuito Periférico de Morelia, Estación 2: km 12+300 (PEPSA, 2023)

Día (FEB - 2023)	Composición Vehicular							Tránsito Diario
	Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones			
	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	
Lunes	56,067	1,007	313	400	10	0	0	57,797
Martes	51,242	868	380	226	11	0	0	52,728
Miércoles	54,693	895	290	314	10	0	0	56,202
Jueves	56,844	1,008	344	279	11	0	0	58,486
Viernes	48,753	903	290	314	15	0	0	50,275
Sábado	48,845	1,031	279	231	6	0	0	50,392
Domingo	47,764	860	331	5	0	0	0	48,960

Tabla 15. Aforo vehicular, Circuito Periférico de Morelia, Estación 3: km 20+700 (PEPSA, 2023)

Día (FEB - 2023)	Composición Vehicular							Tránsito Diario
	Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones			
	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	
Lunes	62,374	1,737	1,803	563	406	1,336	362	68,581
Martes	60,558	1,932	2,735	679	390	1,120	444	67,858
Miércoles	53,860	2,443	2,671	1,112	575	1,162	364	62,187
Jueves	58,862	2,248	2,032	989	736	874	436	66,177
Viernes	58,534	1,930	2,755	925	809	834	618	66,405
Sábado	61,597	1,717	945	532	894	1,197	521	67,403
Domingo	56,464	756	133	1,298	531	574	386	60,142

2. Ramal Camelinas

El Ramal Camelinas es una arteria importante que cuenta con una configuración de un carril en cada sentido, cada carril tiene un ancho aproximado de 3.5 metros. La longitud de su corona es de 12 metros. La superficie está compuesta de asfalto. La velocidad operativa permitida en el Ramal Camelinas es de 60 a 80 km/h.

Los datos de tránsito para este activo vial se obtuvieron de un aforo vehicular y los resultados se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Aforo vehicular, Ramal Camelinas, Estación 1: km 4+500 (PEPSA, 2023)

Día (FEB - 2023)	Composición Vehicular							Tránsito Diario
	Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones			
	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	
Lunes	9,725	15	58	275	9	12	8	10,102
Martes	9,292	14	164	329	9	10	9	9,827
Miércoles	9,531	15	239	249	15	13	10	10,072
Jueves	10,125	15	208	275	9	12	8	10,652
Viernes	9,151	14	231	384	11	15	18	9,824
Sábado	8,111	13	166	27	0	0	0	8,317
Domingo	8,369	13	95	11	0	0	0	8,488

3. Zacapu - Villachuato

Este tramo carretero cuenta con dos carriles de aproximadamente 3.5 metros, uno en cada sentido de circulación. El ancho de la corona varía entre 7 a 8 metros, dependiendo de la presencia de acotamientos. La superficie de rodadura es de asfalto. La velocidad de operación varía entre 60 y 80 km/h.

La información de tránsito para este activo vial se obtuvo de los datos viales proporcionados por la Dirección General de Servicios Técnicos (tabla 17).

Tabla 17. Estaciones, Zacapu - Villachuato, (Datos Viales, 2024)

Estaciones	Zacapu km 0+000			Panindícuaro km 21+000			T. C. Cuitzeo - Zináparo km 43+000		
	TE ⁽¹⁾	SC ⁽²⁾	TDPA	TE ⁽¹⁾	SC ⁽²⁾	TDPA	TE ⁽¹⁾	SC ⁽²⁾	TDPA
2018	3	1 y 2	10,362	3	0	3,465	1	0	1,399
2019	3	1 y 2	10,735	3	0	3,687	1	0	1,477
2020	3	1 y 2	7,568	3	0	3,215	1	0	1,435
2021	3	1 y 2	10,598	3	0	3,641	1	0	1,458
2022	3	1 y 2	10,949	3	0	4,183	1	0	1,633
2023	3	1 y 2	11,408	3	0	4,317	1	0	1,669

(1) **TE (Tipo de Estación):** Según el sentido en que aumenta el kilometraje de la carretera, el número "1" señala que el aforo se realizó antes del punto generador, el "2" indica que fue en el punto generador y el "3" que fue después del punto generador.

(2) **SC (Sentido de Circulación):** Se utiliza el número "1" para referirse al sentido de circulación en el cual aumenta el cadenamamiento del camino, el "2" para el sentido en que disminuye el kilometraje y el "0" para ambos sentidos.

4. Puruándiro - Pastor Ortiz

El tramo carretero Puruándiro - Pastor Ortiz cuenta con un carril por sentido. La corona del camino es de aproximadamente 7 metros. La superficie de rodadura está compuesta de asfalto. La velocidad de operación varía entre 60 km/h y 80 km/h, ajustándose en zonas suburbanas y tramos específicos con limitaciones de velocidad más bajas. Incluye acotamientos de aproximadamente 1 a 2 metros a cada lado del carril de circulación.

Los datos de tránsito para este activo vial se obtuvieron de un aforo vehicular y los resultados se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Aforo vehicular, Puruándiro - Pastor Ortiz, Estación 1: km 4+000 (PEPSA, 2023)

Día (FEB - 2023)	Composición Vehicular							Tránsito Diario
	Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones			
	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	
Lunes	1,495	16	10	8	0	0	0	1,529
Martes	1,528	16	6	10	0	0	0	1,560
Miércoles	1,317	16	6	15	0	0	0	1,354
Jueves	1,475	16	6	11	0	0	0	1,508
Viernes	1,417	16	7	24	0	0	0	1,464
Sábado	1,495	16	6	5	0	0	0	1,522
Domingo	1,241	16	8	4	0	0	0	1,269

5. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes

Este tramo carretero cuenta con un carril por sentido. Tiene un ancho de corona que varía, pero generalmente es 7 metros. Su superficie de rodadura es de asfalto. La velocidad de operación oscila entre 50 y 80 km/h, reduciéndose en zonas con mayor densidad poblacional o en áreas suburbanas.

Los datos de tránsito para este activo vial se obtuvieron de un aforo vehicular y los resultados se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Aforo vehicular, Erongarícuaro - La Zaramora - Franco Reyes, Estación 1: km 11+000 (PEPSA, 2023)

Día (FEB - 2023)	Composición Vehicular							Tránsito Diario
	Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones			
	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	
Lunes	884	1	35	30	0	0	0	950
Martes	757	0	25	34	0	0	0	816
Miércoles	756	1	67	30	0	0	0	854
Jueves	615	1	35	30	0	0	0	681
Viernes	774	1	40	39	0	0	0	854
Sábado	421	1	4	8	0	0	0	434
Domingo	883	2	3	3	0	0	0	891

- **Estudio de Tránsito Grupo 5B**

6. E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta

La carretera tiene una corona de 7 metros, con un carril por sentido (Ilustración 53). La superficie de rodadura está compuesta de asfalto y se desarrolla en una zona de lomerío. La velocidad de operación es de 60 km/h, reduciéndose a 30 km/h en las áreas suburbanas.



Ilustración 53. Colocación de bandas aforadoras de tránsito en estación 1: km 9+000 (PEPSA, 2023).

La recopilación de datos de tránsito para este activo vial se llevó a cabo mediante un aforo vehicular y los resultados se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Aforo Vehicular E.C. (Morelia - Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta, Estación 1: km 9+000 (PEPSA, 2023).

Día (FEB - 2023)	Composición Vehicular							Tránsito Diario
	Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones			
	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	
Lunes 6	2,368	6	52	63	2	16	6	2,513
Martes 7	2,418	6	44	51	1	9	5	2,534
Miércoles 8	2,412	6	53	38	3	9	8	2,529
Jueves 9	2,520	6	47	11	1	10	9	2,604
Viernes 10	2,341	6	47	39	2	11	4	2,450
Sábado 11	1,880	4	33	134	3	7	5	2,066
Domingo 12	1,241	4	8	15	0	0	0	1,268

7. Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo

La carretera presenta coronas variables a lo largo de su recorrido, incluyendo tramos con dos cuerpos de 7 metros cada uno, seguidos por una sección con una corona de 9 metros, y finalizando con una corona de 7 metros, todos con un carril por sentido (Ilustración 54). La superficie de rodadura está compuesta de asfalto y se desarrolla en una zona de lomerío. La velocidad de operación varía entre 50 y 90 km/h, reduciéndose a 40 km/h en áreas suburbanas.



Ilustración 54. Geometría de la zona de proyecto (PEPSA, 2023)

La información de tránsito para este activo vial se obtuvo de los datos viales proporcionados por la Dirección General de Servicios Técnicos (tabla 21).

Tabla 21. Estaciones, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo, (Datos Viales, 2024)

Estación	T.C. Cuitzeo-Zináparo km 43			Puruándiro km 61+000			E. T. Izq. Zacapu km 79+000			Zináparo km 123+700		
	TE	SC	TDPA	TE	SC	TDPA	TE	SC	TDPA	TE	SC	TDPA
2018	3	1 y 2	3,060	3	0	5,465	3	0	2,169	1	0	2,200
2019	3	1 y 2	3,130	3	0	6,020	3	0	2,171	1	0	2,257
2020	3	1 y 2	2,301	3	0	5,918	3	0	2,200	1	0	1,850
2021	3	1 y 2	2,931	3	0	5,980	3	0	2,032	1	0	2,113
2022	3	1 y 2	2,780	3	0	6,103	3	0	2,161	1	0	2,144
2023	3	1 y 2	2,741	3	0	5,594	3	0	2,172	1	0	2,103

- (1) **TE (Tipo de Estación):** Según el sentido en que aumenta el kilometraje de la carretera, el número "1" señala que el aforo se realizó antes del punto generador, el "2" indica que fue en el punto generador y el "3" que fue después del punto generador.
- (2) **SC (Sentido de Circulación):** Se utiliza el número "1" para referirse al sentido de circulación en el cual aumenta el cadenamiento del camino, el "2" para el sentido en que disminuye el kilometraje y el "0" para ambos sentidos.

4.4.3 Medición de Deflexiones

Este subtema se enfoca en la obtención de datos de la evaluación estructural del pavimento a través de la medición de deflexiones a cada 500 metros. Las mediciones se realizaron utilizando equipos de alto rendimiento, mismos que cumplen con las normativas internacionales ASTM y que están certificados por el instituto mexicano del transporte (IMT).

Descripción del ensayo: El ensayo consiste en medir el desplazamiento vertical de varios puntos de la superficie de un pavimento bajo el centro de una placa circular rígida, sometida a un pulso de carga dinámica de magnitud predefinida, con el fin de determinar una cuenca de deformaciones para un eje longitudinal al pavimento (Ilustración 55). Los ensayos se realizarán siguiendo las recomendaciones de las normas americanas ASTM D4695 de 2003, ASTM D4694 de 1996 y ASTM D5858 de 1996.

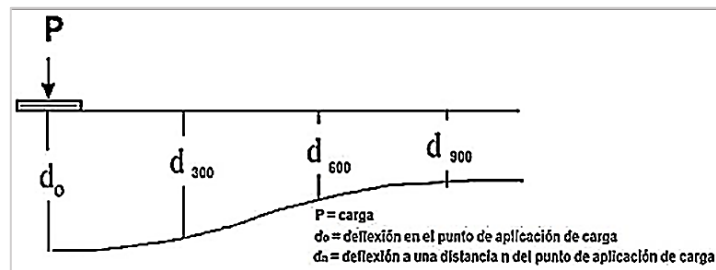


Ilustración 55. Esquema de una cuenca de deformaciones generada a través de un pulso de carga dinámica (N.CSV.CAR.1-03-010/17, 2017).

Descripción del equipo: Para las mediciones se empleó el uso del Deflectómetro de Impacto (FWD), una herramienta avanzada que mide el desplazamiento vertical de varios puntos de la superficie del pavimento bajo una carga dinámica.

El Deflectómetro de Impacto es un dispositivo que utiliza una masa que, al caer, genera un impacto sobre un sistema de amortiguamiento elástico (Ilustración 56). Este sistema está compuesto por un conjunto de tacos de goma, cuyo número y características elásticas ajustan la forma y duración del impulso de carga generado. Montado sobre una placa, este sistema permite inducir una onda de carga sobre el pavimento, simulando el paso de un eje pesado en movimiento. Las deflexiones resultantes se registran mediante varios sensores ubicados a diferentes distancias del centro de la placa. Las deflexiones medidas por el sensor situado directamente debajo de la placa reflejan la deformación de todas las capas del pavimento, proporcionando información sobre el comportamiento global de la estructura. En contraste, las deflexiones detectadas por los sensores más alejados del centro se deben principalmente a la deformación de las capas inferiores, especialmente la subrasante.



Ilustración 56. Deflectómetro de Impacto (SOINVITSA, 2023).

A continuación, se presentan los datos obtenidos de las mediciones realizadas en el grupo 5, correspondiente a la zona centro.

- **Deflexiones - Grupo 5A**

1. Circuito Periférico de Morelia

Tabla 22. Deflexiones medidas - Circuito Periférico de Morelia (PEPSA, 2023)

ESTACIÓN	PRESIÓN EFECTIVA (KPa)	DEFLEXIONES MEDIDAS (m m)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
0+000	1083.46	1.353	1.085	0.876	0.534	0.492	0.260	0.148
0+500	1177.85	0.403	0.349	0.321	0.276	0.261	0.202	0.150
1+000	979.76	0.357	0.324	0.300	0.274	0.258	0.213	0.169
1+500	989.05	0.431	0.345	0.309	0.267	0.245	0.194	0.154
2+000	1010.75	0.561	0.424	0.341	0.199	0.190	0.102	0.067
2+500	970.46	0.332	0.279	0.252	0.226	0.211	0.170	0.135
3+000	1037.11	0.137	0.137	0.135	0.130	0.129	0.125	0.095
3+500	916.36	0.623	0.503	0.425	0.287	0.269	0.160	0.098
4+000	1004.56	0.917	0.691	0.597	0.380	0.352	0.203	0.127
4+500	925.66	1.354	1.044	0.862	0.531	0.427	0.204	0.157
5+000	1029.20	0.303	0.293	0.261	0.211	0.210	0.163	0.028
5+500	1066.41	0.079	0.068	0.065	0.061	0.055	0.047	0.040
6+000	1038.50	0.717	0.522	0.420	0.259	0.235	0.154	0.104
6+500	1046.40	0.675	0.575	0.511	0.435	0.371	0.274	0.217
7+000	913.11	1.565	1.261	1.099	0.665	0.554	0.347	0.260
7+500	1061.91	0.461	0.431	0.400	0.375	0.330	0.264	0.210
8+000	1016.95	0.447	0.406	0.378	0.350	0.332	0.283	0.244
8+500	1089.65	0.361	0.329	0.305	0.274	0.257	0.209	0.165
9+000	1055.56	0.478	0.431	0.398	0.353	0.313	0.238	0.178
9+500	1026.26	0.552	0.491	0.445	0.394	0.365	0.289	0.221
10+000	1030.91	0.773	0.592	0.482	0.307	0.294	0.188	0.131
10+500	890.01	0.793	0.578	0.466	0.294	0.282	0.171	0.116
11+000	1015.41	0.642	0.484	0.394	0.321	0.267	0.180	0.126
11+500	1013.70	0.309	0.262	0.231	0.209	0.199	0.165	0.133
12+000	985.95	0.397	0.306	0.265	0.221	0.184	0.124	0.084
12+500	1026.26	0.401	0.279	0.214	0.161	0.120	0.079	0.061
13+000	1041.75	0.541	0.399	0.340	0.272	0.222	0.148	0.105
13+500	1026.26	0.440	0.420	0.409	0.371	0.352	0.276	0.202
14+000	1060.20	0.386	0.369	0.330	0.287	0.256	0.188	0.129
14+500	1063.30	0.543	0.428	0.370	0.298	0.255	0.180	0.132
15+000	1055.56	0.477	0.356	0.295	0.243	0.193	0.128	0.091
15+500	1044.71	0.504	0.400	0.333	0.268	0.215	0.138	0.095
16+000	1052.45	0.705	0.517	0.451	0.366	0.288	0.204	0.163
16+500	1081.90	0.280	0.256	0.242	0.223	0.202	0.182	0.154
17+000	1058.66	0.870	0.638	0.499	0.293	0.281	0.138	0.058
17+500	1066.41	0.691	0.526	0.442	0.346	0.274	0.158	0.086
18+000	1041.75	0.416	0.395	0.346	0.296	0.249	0.174	0.128
18+500	1015.41	0.310	0.302	0.286	0.266	0.240	0.210	0.142
19+000	1058.66	0.270	0.254	0.230	0.204	0.168	0.088	0.076
19+500	950.30	0.589	0.396	0.295	0.146	0.123	0.048	0.013
20+000	996.81	0.765	0.532	0.404	0.226	0.222	0.118	0.077
20+500	1052.45	0.288	0.272	0.250	0.225	0.208	0.167	0.131
21+000	985.95	0.806	0.636	0.529	0.434	0.374	0.256	0.189
21+500	1049.35	0.758	0.568	0.470	0.382	0.292	0.187	0.137
22+000	1041.75	0.791	0.602	0.499	0.373	0.311	0.198	0.140
22+500	1061.91	0.682	0.477	0.381	0.205	0.204	0.118	0.075
23+000	1055.56	0.584	0.479	0.433	0.368	0.307	0.215	0.150
23+500	1055.56	0.467	0.385	0.345	0.301	0.260	0.191	0.141
24+000	1055.56	0.536	0.396	0.326	0.248	0.164	0.078	0.035
24+500	1080.36	0.277	0.216	0.178	0.137	0.104	0.062	0.032
25+000	1035.55	1.048	0.820	0.648	0.443	0.319	0.172	0.124
25+500	1027.65	1.021	0.805	0.657	0.482	0.331	0.175	0.123
26+000	1083.46	1.353	1.085	0.876	0.534	0.492	0.260	0.148

Tabla 23. Deflexiones corregidas - Circuito Periférico de Morelia (PEPSA, 2023)

ESTACIÓN	Coeficiente Corrección por Temperatura	DEFLEXIONES CORREGIDAS A 700MPa (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
0+000	1.078	1.24	0.99	0.80	0.49	0.45	0.24	0.14
0+500	0.845	0.37	0.32	0.29	0.25	0.24	0.18	0.14
1+000	0.812	0.33	0.30	0.27	0.25	0.24	0.19	0.15
1+500	0.900	0.39	0.31	0.28	0.24	0.22	0.18	0.14
2+000	0.911	0.51	0.39	0.31	0.18	0.17	0.09	0.06
2+500	0.889	0.30	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.12
3+000	1.056	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.09
3+500	0.911	0.57	0.46	0.39	0.26	0.25	0.15	0.09
4+000	1.034	0.84	0.63	0.55	0.35	0.32	0.19	0.12
4+500	0.889	1.24	0.95	0.79	0.48	0.39	0.19	0.14
5+000	0.945	0.28	0.27	0.24	0.19	0.19	0.15	0.03
5+500	0.834	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04
6+000	0.789	0.66	0.48	0.38	0.24	0.22	0.14	0.10
6+500	0.800	0.62	0.53	0.47	0.40	0.34	0.25	0.20
7+000	0.856	1.43	1.15	1.00	0.61	0.51	0.32	0.24
7+500	1.067	0.42	0.39	0.37	0.34	0.30	0.24	0.19
8+000	1.067	0.41	0.37	0.35	0.32	0.30	0.26	0.22
8+500	0.989	0.33	0.30	0.28	0.25	0.24	0.19	0.15
9+000	1.078	0.44	0.39	0.36	0.32	0.29	0.22	0.16
9+500	0.934	0.50	0.45	0.41	0.36	0.33	0.26	0.20
10+000	1.078	0.71	0.54	0.44	0.28	0.27	0.17	0.12
10+500	0.978	0.72	0.53	0.43	0.27	0.26	0.16	0.11
11+000	0.978	0.59	0.44	0.36	0.29	0.24	0.16	0.12
11+500	1.034	0.28	0.24	0.21	0.19	0.18	0.15	0.12
12+000	0.823	0.36	0.28	0.24	0.20	0.17	0.11	0.08
12+500	0.889	0.37	0.25	0.20	0.15	0.11	0.07	0.06
13+000	0.934	0.49	0.36	0.31	0.25	0.20	0.14	0.10
13+500	0.956	0.40	0.38	0.37	0.34	0.32	0.25	0.18
14+000	0.945	0.35	0.34	0.30	0.26	0.23	0.17	0.12
14+500	0.989	0.50	0.39	0.34	0.27	0.23	0.16	0.12
15+000	0.956	0.44	0.33	0.27	0.22	0.18	0.12	0.08
15+500	0.967	0.46	0.37	0.30	0.24	0.20	0.13	0.09
16+000	0.989	0.64	0.47	0.41	0.33	0.26	0.19	0.15
16+500	0.923	0.26	0.23	0.22	0.20	0.18	0.17	0.14
17+000	0.878	0.79	0.58	0.46	0.27	0.26	0.13	0.05
17+500	0.934	0.63	0.48	0.40	0.32	0.25	0.14	0.08
18+000	0.889	0.38	0.36	0.32	0.27	0.23	0.16	0.12
18+500	0.923	0.28	0.28	0.26	0.24	0.22	0.19	0.13
19+000	0.834	0.25	0.23	0.21	0.19	0.15	0.08	0.07
19+500	0.823	0.54	0.36	0.27	0.13	0.11	0.04	0.01
20+000	0.834	0.70	0.49	0.37	0.21	0.20	0.11	0.07
20+500	0.867	0.26	0.25	0.23	0.21	0.19	0.15	0.12
21+000	0.945	0.74	0.58	0.48	0.40	0.34	0.23	0.17
21+500	0.878	0.69	0.52	0.43	0.35	0.27	0.17	0.13
22+000	0.845	0.72	0.55	0.46	0.34	0.28	0.18	0.13
22+500	0.889	0.62	0.44	0.35	0.19	0.19	0.11	0.07
23+000	0.789	0.53	0.44	0.40	0.34	0.28	0.20	0.14
23+500	0.734	0.43	0.35	0.32	0.28	0.24	0.18	0.13
24+000	0.856	0.49	0.36	0.30	0.23	0.15	0.07	0.03
24+500	0.867	0.25	0.20	0.16	0.13	0.09	0.06	0.03
25+000	0.923	0.96	0.75	0.59	0.40	0.29	0.16	0.11
25+500	0.923	0.93	0.74	0.60	0.44	0.30	0.16	0.11
26+000	1.078	1.24	0.99	0.80	0.49	0.45	0.24	0.14

2. Ramal Camelinas

Tabla 24. Deflexiones medidas – Ramal Camelinas (PEPSA, 2023)

ESTACIÓN	PRESIÓN EFECTIVA (KPa)	DEFLEXIONES MEDIDAS (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
100+000	1179.40	0.766	0.513	0.429	0.288	0.217	0.136	0.097
100+500	1215.05	0.166	1.650	1.463	1.148	0.943	0.683	0.536
101+000	1163.90	0.210	0.171	0.156	0.140	0.127	0.115	0.083
101+500	1211.95	0.434	1.474	1.259	0.983	0.847	0.642	0.500
102+000	1248.99	0.345	1.601	1.373	1.119	0.886	0.618	0.460
102+500	923.96	0.468	1.628	1.380	0.903	0.749	0.436	0.283
103+000	979.76	0.156	1.828	1.473	1.175	0.953	0.670	0.498
103+500	999.90	0.666	1.838	1.539	1.150	0.947	0.798	0.628
104+000	999.90	0.771	1.273	1.014	0.814	0.652	0.491	0.374
104+500	987.35	0.265	1.349	1.315	1.299	1.222	0.648	0.454

Tabla 25. Deflexiones corregidas – Ramal Camelinas (PEPSA, 2023)

ESTACIÓN	Coeficiente Corrección por Temperatura	DEFLEXIONES CORREGIDAS A 700MPa (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
100+000	0.856	0.64	0.49	0.40	0.29	0.24	0.16	0.11
100+500	1.100	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	0.08	0.06
101+000	1.111	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.10
101+500	0.867	0.36	0.33	0.25	0.19	0.16	0.13	0.10
102+000	0.778	0.29	0.21	0.18	0.15	0.13	0.10	0.08
102+500	1.000	0.39	0.29	0.21	0.12	0.08	0.02	0.01
103+000	1.056	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.07
103+500	0.867	0.56	0.33	0.22	0.11	0.05	0.01	0.00
104+000	0.934	0.65	0.49	0.39	0.25	0.20	0.10	0.05
104+500	0.934	0.22	0.20	0.18	0.15	0.12	0.08	0.05

3. Zacapu - Villachuato

Tabla 26. Deflexiones medidas – Zacapu-Villachuato (PEPSA, 2023)

ESTACIÓN	PRESIÓN EFECTIVA (KPa)	DEFLEXIONES MEDIDAS (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
0+000	979.76	0.718	0.693	0.642	0.609	0.564	0.411	0.319
0+500	982.86	0.892	0.818	0.762	0.692	0.607	0.463	0.344
1+000	1057.26	0.324	0.316	0.302	0.298	0.280	0.246	0.208
1+500	930.31	1.021	0.931	0.866	0.827	0.766	0.597	0.436
2+000	942.55	1.609	1.334	1.094	0.895	0.729	0.522	0.399
2+500	970.46	1.303	0.996	0.865	0.703	0.583	0.446	0.360
3+000	921.00	1.776	1.476	1.234	1.089	0.872	0.607	0.476
3+500	990.61	0.798	0.694	0.629	0.577	0.506	0.388	0.292
4+000	1027.65	0.724	0.639	0.582	0.528	0.453	0.338	0.251
4+500	989.05	0.897	0.799	0.727	0.669	0.586	0.446	0.332

5+000	1066.41	0.395	0.331	0.304	0.276	0.244	0.193	0.155
5+500	1002.85	0.690	0.566	0.509	0.444	0.378	0.285	0.222
6+000	1027.65	0.675	0.542	0.476	0.411	0.345	0.248	0.187
6+500	951.86	0.640	0.559	0.506	0.459	0.399	0.302	0.227
7+000	1038.50	0.552	0.465	0.411	0.362	0.299	0.208	0.150
7+500	954.96	0.775	0.681	0.628	0.573	0.509	0.399	0.314
8+000	1027.65	0.487	0.399	0.354	0.303	0.246	0.168	0.120
8+500	936.51	0.757	0.622	0.544	0.477	0.396	0.288	0.218
9+000	976.66	1.541	1.329	1.104	0.880	0.710	0.473	0.295
9+500	992.15	0.417	0.331	0.292	0.257	0.213	0.150	0.107
10+000	984.41	0.811	0.694	0.611	0.540	0.437	0.288	0.181
10+500	1002.85	0.691	0.500	0.434	0.377	0.323	0.257	0.131
11+000	967.35	0.693	0.503	0.397	0.349	0.273	0.206	0.163
11+500	1015.41	0.615	0.440	0.377	0.314	0.254	0.176	0.130
12+000	967.35	0.693	0.503	0.397	0.349	0.273	0.206	0.163
12+500	890.01	0.574	0.446	0.384	0.319	0.251	0.158	0.106
13+000	975.10	0.639	0.515	0.434	0.369	0.286	0.178	0.118
13+500	941.16	0.786	0.484	0.357	0.274	0.194	0.117	0.083
14+000	903.96	0.504	0.377	0.326	0.276	0.224	0.155	0.115
14+500	964.25	0.614	0.407	0.320	0.263	0.202	0.136	0.100
15+000	906.90	0.450	0.366	0.313	0.266	0.209	0.133	0.084
15+500	902.26	0.458	0.320	0.270	0.221	0.171	0.110	0.075
16+000	890.01	0.511	0.398	0.336	0.272	0.208	0.129	0.083
16+500	978.20	0.517	0.387	0.323	0.261	0.205	0.135	0.092
17+000	1020.06	0.496	0.350	0.297	0.247	0.196	0.129	0.091
17+500	982.86	0.553	0.362	0.280	0.220	0.160	0.093	0.057
18+000	903.96	0.470	0.352	0.300	0.245	0.190	0.121	0.080
18+500	931.70	0.467	0.320	0.269	0.226	0.175	0.110	0.070
19+000	970.46	0.498	0.377	0.324	0.274	0.216	0.140	0.090
19+500	989.05	0.649	0.448	0.357	0.284	0.206	0.114	0.062
20+000	914.81	0.743	0.521	0.406	0.310	0.224	0.146	0.112
20+500	981.31	1.092	0.857	0.621	0.430	0.239	0.043	0.013
21+000	965.81	1.089	0.598	0.344	0.172	0.053	0.035	0.013
21+500	1013.70	0.532	0.322	0.182	0.110	0.070	0.028	0.006
22+000	962.71	0.638	0.435	0.319	0.265	0.178	0.090	0.040
22+500	982.86	1.155	0.807	0.638	0.518	0.372	0.218	0.114
23+000	978.20	1.022	0.773	0.625	0.520	0.415	0.288	0.228
23+500	984.41	0.978	0.653	0.547	0.458	0.376	0.284	0.215
24+000	970.46	1.063	0.890	0.704	0.539	0.417	0.280	0.211
24+500	982.86	1.120	0.942	0.787	0.644	0.518	0.355	0.262
25+000	872.96	0.921	0.694	0.580	0.478	0.389	0.281	0.216
25+500	967.35	1.151	0.916	0.776	0.652	0.544	0.403	0.290
26+000	962.71	0.969	0.813	0.675	0.564	0.458	0.319	0.228
26+500	990.61	1.280	0.812	0.677	0.549	0.438	0.308	0.235
27+000	982.86	0.895	0.655	0.542	0.449	0.368	0.275	0.216
27+500	925.66	1.051	0.748	0.624	0.512	0.418	0.306	0.229
28+000	979.76	0.998	0.756	0.601	0.489	0.390	0.281	0.217
28+500	975.10	1.236	0.924	0.773	0.632	0.508	0.341	0.258
29+000	995.26	0.968	0.765	0.639	0.527	0.401	0.300	0.240
29+500	958.06	0.765	0.510	0.378	0.281	0.192	0.117	0.055
30+000	1020.06	0.604	0.403	0.289	0.214	0.167	0.128	0.098
30+500	925.66	0.929	0.643	0.498	0.400	0.288	0.218	0.118
31+000	954.96	1.247	0.801	0.762	0.468	0.322	0.182	0.054
31+500	968.91	1.508	1.133	0.879	0.610	0.314	0.180	0.084
32+000	890.01	1.484	1.040	0.831	0.665	0.456	0.258	0.102
32+500	1024.55	1.175	1.034	0.593	0.459	0.332	0.186	0.080

33+000	937.91	1.298	1.225	0.938	0.659	0.429	0.207	0.182
33+500	877.62	1.437	1.037	0.760	0.475	0.391	0.222	0.083
34+000	995.26	1.202	0.877	0.556	0.417	0.238	0.135	0.019
34+500	975.10	1.712	1.413	1.174	0.696	0.467	0.189	0.108
35+000	939.45	1.109	0.841	0.570	0.407	0.229	0.126	0.054
35+500	1047.81	1.005	0.667	0.388	0.350	0.226	0.138	0.066
36+000	942.55	1.342	0.955	0.753	0.557	0.353	0.209	0.032
36+500	834.21	1.342	1.013	0.783	0.606	0.425	0.250	0.129
37+000	999.90	1.067	1.021	0.779	0.567	0.381	0.178	0.008
37+500	923.96	0.753	0.541	0.255	0.152	0.083	0.055	0.048
38+000	837.31	0.925	0.596	0.409	0.262	0.164	0.103	0.018
38+500	1030.91	1.220	0.652	0.473	0.349	0.236	0.136	0.040
39+000	941.16	1.022	0.662	0.470	0.311	0.174	0.118	0.088
39+500	1006.11	1.198	0.662	0.345	0.304	0.195	0.109	0.072
40+000	970.46	1.197	0.809	0.633	0.491	0.355	0.190	0.001
40+500	1030.91	1.103	0.834	0.587	0.438	0.166	0.030	0.023
41+000	958.06	0.800	0.488	0.286	0.255	0.126	0.068	0.022
41+500	1033.86	0.896	0.666	0.507	0.362	0.249	0.091	0.043
42+000	923.96	1.509	1.188	0.961	0.742	0.552	0.336	0.174
42+500	928.60	1.489	1.184	0.854	0.617	0.402	0.261	0.092
43+000	968.91	0.771	0.369	0.228	0.131	0.062	0.049	0.035
43+400	933.26	1.619	1.214	0.915	0.693	0.435	0.219	0.004

Tabla 27. Deflexiones corregidas – Zacapu-Villachuato (PEPSA, 2023)

ESTACIÓN	Coeficiente Corrección por Temp	DEFLEXIONES CORREGIDAS A 700MPa (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
0+000	0.878	0.73	0.70	0.65	0.61	0.57	0.42	0.32
0+500	1.022	0.66	0.61	0.57	0.52	0.45	0.34	0.26
1+000	0.823	0.33	0.32	0.31	0.30	0.28	0.25	0.21
1+500	1.045	0.76	0.69	0.64	0.62	0.57	0.44	0.32
2+000	0.867	1.63	1.35	1.11	0.90	0.74	0.53	0.40
2+500	1.089	0.97	0.74	0.64	0.52	0.43	0.33	0.27
3+000	0.834	1.80	1.49	1.25	1.10	0.88	0.61	0.48
3+500	1.056	0.59	0.52	0.47	0.43	0.38	0.29	0.22
4+000	0.823	0.73	0.65	0.59	0.53	0.46	0.34	0.25
4+500	1.078	0.67	0.59	0.54	0.50	0.44	0.33	0.25
5+000	1.022	0.40	0.33	0.31	0.28	0.25	0.20	0.16
5+500	1.089	0.51	0.42	0.38	0.33	0.28	0.21	0.17
6+000	0.823	0.68	0.55	0.48	0.42	0.35	0.25	0.19
6+500	1.089	0.48	0.42	0.38	0.34	0.30	0.23	0.17
7+000	0.834	0.56	0.47	0.42	0.37	0.30	0.21	0.15
7+500	1.089	0.58	0.51	0.47	0.43	0.38	0.30	0.23
8+000	0.878	0.49	0.40	0.36	0.31	0.25	0.17	0.12
8+500	1.089	0.56	0.46	0.40	0.36	0.29	0.21	0.16
9+000	0.778	1.56	1.34	1.12	0.89	0.72	0.48	0.30
9+500	1.078	0.31	0.25	0.22	0.19	0.16	0.11	0.08
10+000	0.800	0.82	0.70	0.62	0.55	0.44	0.29	0.18
10+500	1.078	0.51	0.37	0.32	0.28	0.24	0.19	0.10
11+000	0.778	0.70	0.51	0.40	0.35	0.28	0.21	0.16
11+500	1.056	0.46	0.33	0.28	0.23	0.19	0.13	0.10
12+000	0.845	0.70	0.51	0.40	0.35	0.28	0.21	0.16
12+500	1.056	0.43	0.33	0.29	0.24	0.19	0.12	0.08
13+000	0.845	0.65	0.52	0.44	0.37	0.29	0.18	0.12

13+500	1.045	0.58	0.36	0.27	0.20	0.14	0.09	0.06
14+000	0.845	0.51	0.38	0.33	0.28	0.23	0.16	0.12
14+500	1.022	0.46	0.30	0.24	0.20	0.15	0.10	0.07
15+000	0.867	0.46	0.37	0.32	0.27	0.21	0.13	0.09
15+500	1.056	0.34	0.24	0.20	0.16	0.13	0.08	0.06
16+000	0.856	0.52	0.40	0.34	0.28	0.21	0.13	0.08
16+500	1.034	0.38	0.29	0.24	0.19	0.15	0.10	0.07
17+000	0.845	0.50	0.35	0.30	0.25	0.20	0.13	0.09
17+500	1.011	0.41	0.27	0.21	0.16	0.12	0.07	0.04
18+000	0.878	0.47	0.36	0.30	0.25	0.19	0.12	0.08
18+500	1.022	0.35	0.24	0.20	0.17	0.13	0.08	0.05
19+000	0.834	0.50	0.38	0.33	0.28	0.22	0.14	0.09
19+500	0.989	0.48	0.33	0.27	0.21	0.15	0.08	0.05
20+000	0.823	0.75	0.53	0.41	0.31	0.23	0.15	0.11
20+500	1.000	0.81	0.64	0.46	0.32	0.18	0.03	0.01
21+000	0.845	1.10	0.60	0.35	0.17	0.05	0.04	0.01
21+500	1.011	0.40	0.24	0.14	0.08	0.05	0.02	0.00
22+000	0.800	0.64	0.44	0.32	0.27	0.18	0.09	0.04
22+500	1.034	0.86	0.60	0.47	0.39	0.28	0.16	0.08
23+000	0.756	1.03	0.78	0.63	0.53	0.42	0.29	0.23
23+500	1.011	0.73	0.49	0.41	0.34	0.28	0.21	0.16
24+000	0.767	1.07	0.90	0.71	0.55	0.42	0.28	0.21
24+500	1.011	0.83	0.70	0.59	0.48	0.39	0.26	0.19
25+000	0.745	0.93	0.70	0.59	0.48	0.39	0.28	0.22
25+500	1.034	0.86	0.68	0.58	0.49	0.40	0.30	0.22
26+000	0.756	0.98	0.82	0.68	0.57	0.46	0.32	0.23
26+500	1.000	0.95	0.60	0.50	0.41	0.33	0.23	0.17
27+000	0.789	0.90	0.66	0.55	0.45	0.37	0.28	0.22
27+500	1.000	0.78	0.56	0.46	0.38	0.31	0.23	0.17
28+000	0.789	1.01	0.76	0.61	0.49	0.39	0.28	0.22
28+500	1.011	0.92	0.69	0.57	0.47	0.38	0.25	0.19
29+000	0.745	0.98	0.77	0.65	0.53	0.41	0.30	0.24
29+500	1.011	0.57	0.38	0.28	0.21	0.14	0.09	0.04
30+000	0.734	0.61	0.41	0.29	0.22	0.17	0.13	0.10
30+500	1.022	0.69	0.48	0.37	0.30	0.21	0.16	0.09
31+000	0.778	1.26	0.81	0.77	0.47	0.33	0.18	0.05
31+500	1.011	1.12	0.84	0.65	0.45	0.23	0.13	0.06
32+000	0.812	1.50	1.05	0.84	0.67	0.46	0.26	0.10
32+500	0.978	0.87	0.77	0.44	0.34	0.25	0.14	0.06
33+000	0.800	1.31	1.24	0.95	0.67	0.43	0.21	0.18
33+500	0.989	1.07	0.77	0.57	0.35	0.29	0.17	0.06
34+000	0.745	1.21	0.89	0.56	0.42	0.24	0.14	0.02
34+500	0.978	1.27	1.05	0.87	0.52	0.35	0.14	0.08
35+000	0.789	1.12	0.85	0.58	0.41	0.23	0.13	0.05
35+500	0.989	0.75	0.50	0.29	0.26	0.17	0.10	0.05
36+000	0.745	1.36	0.97	0.76	0.56	0.36	0.21	0.03
36+500	0.945	1.00	0.75	0.58	0.45	0.32	0.19	0.10
37+000	0.734	1.08	1.03	0.79	0.57	0.38	0.18	0.01
37+500	0.945	0.56	0.40	0.19	0.11	0.06	0.04	0.04
38+000	0.778	0.93	0.60	0.41	0.27	0.17	0.10	0.02
38+500	1.011	0.91	0.49	0.35	0.26	0.18	0.10	0.03
39+000	0.767	1.03	0.67	0.48	0.31	0.18	0.12	0.09
39+500	0.967	0.89	0.49	0.26	0.23	0.15	0.08	0.05
40+000	0.800	1.21	0.82	0.64	0.50	0.36	0.19	0.00
40+500	0.956	0.82	0.62	0.44	0.33	0.12	0.02	0.02
41+000	0.756	0.81	0.49	0.29	0.26	0.13	0.07	0.02

41+500	0.945	0.67	0.50	0.38	0.27	0.19	0.07	0.03
42+000	0.745	1.53	1.20	0.97	0.75	0.56	0.34	0.18
42+500	0.934	1.11	0.88	0.64	0.46	0.30	0.19	0.07
43+000	0.745	0.78	0.37	0.23	0.13	0.06	0.05	0.04
43+400	0.723	1.64	1.23	0.93	0.70	0.44	0.22	0.00

4. Puruándiro - Pastor Ortiz

Tabla 28. Deflexiones medidas – Puruándiro-Pastor Ortiz (PEPSA, 2023)

ESTACIÓN	PRESIÓN EFECTIVA (KPa)	DEFLEXIONES MEDIDAS (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
0+000	936.51	0.937	1.422	0.636	0.433	0.237	0.148	0.042
0+500	1072.61	1.073	1.588	0.924	0.736	0.551	0.356	0.196
1+000	982.86	0.983	1.669	1.017	0.756	0.537	0.320	0.234
1+500	1111.35	1.111	1.094	0.750	0.636	0.523	0.379	0.290
2+000	1002.85	1.003	1.043	0.652	0.550	0.452	0.323	0.154
2+500	1041.75	1.042	1.882	1.267	1.045	0.827	0.543	0.411
3+000	919.31	0.919	1.497	0.899	0.739	0.553	0.372	0.154
3+500	965.81	0.966	1.446	0.997	0.800	0.615	0.430	0.319
4+000	978.20	0.978	1.748	1.236	1.022	0.804	0.474	0.016
4+500	987.35	0.987	1.694	1.093	0.751	0.467	0.235	0.159
5+000	778.57	0.779	1.131	0.693	0.573	0.421	0.292	0.183
5+500	882.10	0.882	1.431	1.162	0.830	0.593	0.365	0.225
6+000	1015.41	1.015	0.668	0.373	0.284	0.208	0.136	0.069
6+500	1047.81	1.048	0.672	0.306	0.216	0.120	0.080	0.034
7+000	1086.55	1.087	0.443	0.132	0.084	0.049	0.022	0.003
7+500	1041.75	1.042	0.421	0.187	0.116	0.058	0.021	0.014
8+000	1021.60	1.022	1.391	0.753	0.596	0.446	0.302	0.027
8+500	992.15	0.992	1.435	0.949	0.773	0.609	0.414	0.233
9+000	1021.60	1.022	1.391	0.753	0.596	0.446	0.302	0.027
9+500	1020.06	1.020	1.064	0.577	0.415	0.273	0.176	0.135
10+000	1021.60	1.022	1.391	0.753	0.596	0.446	0.302	0.027
10+500	933.26	0.933	1.336	0.894	0.664	0.455	0.247	0.116
11+000	947.21	0.947	1.547	0.694	0.493	0.352	0.222	0.064
11+500	973.56	0.974	0.885	0.400	0.313	0.212	0.164	0.126
12+000	1020.06	1.020	1.150	0.629	0.459	0.340	0.224	0.126
12+500	996.81	0.997	0.799	0.413	0.289	0.180	0.082	0.029
13+000	1020.06	1.020	1.161	0.679	0.524	0.372	0.206	0.052
13+500	1029.20	1.029	1.215	0.592	0.404	0.242	0.100	0.050
14+000	1020.06	1.020	1.161	0.679	0.524	0.372	0.206	0.041
14+500	1026.26	1.026	1.449	0.703	0.537	0.336	0.150	0.065
15+000	993.71	0.994	1.367	0.929	0.723	0.513	0.310	0.200
15+500	1030.91	1.031	0.894	0.599	0.447	0.283	0.205	0.025
16+000	1013.70	1.014	0.999	0.549	0.385	0.263	0.145	0.031
16+500	1001.46	1.001	1.515	0.856	0.612	0.426	0.279	0.191
17+000	996.81	0.997	1.438	0.922	0.713	0.542	0.354	0.012
17+500	1035.55	1.036	1.110	0.408	0.279	0.158	0.092	0.060
18+000	993.71	0.994	1.372	1.047	0.798	0.629	0.383	0.049
18+500	1078.80	1.079	0.656	0.287	0.186	0.111	0.046	0.025
19+000	1041.75	1.042	0.912	0.556	0.438	0.335	0.226	0.028
19+500	979.76	0.980	1.487	0.973	0.703	0.504	0.308	0.195
20+000	958.06	0.958	1.618	1.079	0.803	0.617	0.409	0.019
20+500	972.01	0.972	1.662	1.106	0.866	0.648	0.404	0.292

21+000	953.40	0.953	1.203	0.983	0.802	0.627	0.417	0.002
21+500	976.66	0.977	1.877	1.014	0.978	0.782	0.557	0.393
22+000	944.11	0.944	1.765	1.323	1.021	0.742	0.471	0.000
22+500	1012.31	1.012	1.623	1.005	0.930	0.657	0.436	0.291
23+000	999.90	1.000	1.178	0.818	0.650	0.493	0.312	0.054
23+500	999.90	1.000	1.362	0.724	0.539	0.404	0.266	0.201
24+000	859.01	0.859	0.923	0.538	0.419	0.283	0.143	0.003
24+500	1092.75	1.093	0.476	0.223	0.160	0.103	0.053	0.014
25+000	989.05	0.989	1.791	1.232	0.984	0.757	0.574	0.027
25+500	1007.50	1.008	1.690	1.249	0.889	0.566	0.351	0.039
26+000	970.46	0.970	1.849	1.280	1.006	0.692	0.439	0.245
26+500	973.56	0.974	1.916	1.469	1.127	0.828	0.503	0.041
27+000	956.66	0.957	2.078	1.552	1.298	0.974	0.622	0.352
27+500	992.15	0.992	1.710	1.226	0.973	0.704	0.421	0.224
28+000	939.45	0.939	1.831	1.232	0.912	0.581	0.406	0.105
28+500	982.86	0.983	1.505	1.005	0.773	0.563	0.354	0.012
29+000	968.91	0.969	1.809	1.321	1.021	0.748	0.483	0.280
29+500	1010.75	1.011	1.905	1.366	1.068	0.795	0.534	0.052
30+000	956.66	0.957	1.323	0.727	0.567	0.402	0.246	0.180
30+500	927.06	0.927	2.236	1.699	1.194	0.798	0.347	0.009
31+000	1023.01	1.023	1.507	0.811	0.584	0.422	0.253	0.010
31+500	982.86	0.983	2.139	1.370	1.037	0.763	0.514	0.095
32+000	1006.11	1.006	1.617	0.917	0.691	0.499	0.347	0.099
32+500	956.66	0.957	1.730	1.360	1.039	0.762	0.469	0.095
33+000	978.20	0.978	1.751	1.323	0.982	0.677	0.383	0.266
33+500	919.31	0.919	1.815	1.686	1.376	0.943	0.254	0.033
34+000	840.56	0.841	2.292	1.719	1.252	0.690	0.386	0.005
34+500	956.66	0.957	1.589	1.258	1.033	0.771	0.474	0.101
35+000	939.45	0.939	1.822	1.456	1.098	0.813	0.482	0.151
35+500	954.96	0.955	1.570	1.012	0.830	0.639	0.472	0.053
36+000	973.56	0.974	1.808	1.474	1.141	0.854	0.518	0.309
36+500	1023.01	1.023	1.600	1.078	0.867	0.615	0.387	0.060
37+000	1006.11	1.006	1.533	1.056	0.882	0.690	0.439	0.015
37+500	992.15	0.992	1.744	1.174	0.905	0.656	0.374	0.023
38+000	989.05	0.989	1.614	1.111	0.882	0.691	0.460	0.246
38+500	1013.70	1.014	1.570	1.039	0.807	0.639	0.449	0.022
39+000	939.45	0.939	1.765	1.429	1.140	0.872	0.519	0.019
39+500	995.26	0.995	1.500	1.122	0.867	0.644	0.423	0.329
40+000	937.91	0.938	1.736	1.214	0.964	0.726	0.474	0.028
40+500	937.91	0.938	2.002	1.531	1.388	1.072	0.700	0.094
40+800	1016.95	1.017	1.008	0.495	0.389	0.322	0.242	0.178

Tabla 29. Deflexiones corregidas – Puruándiro-Pastor Ortiz (PEPSA, 2023)

ESTACIÓN	Coeficiente Corrección por Temperatura	DEFLEXIONES CORREGIDAS A 700MPa (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
0+000	0.878	1.50	0.93	0.67	0.46	0.25	0.16	0.04
0+500	1.022	1.62	1.18	0.94	0.75	0.56	0.36	0.20
1+000	0.823	1.77	1.34	1.08	0.80	0.57	0.34	0.25
1+500	1.045	1.11	0.89	0.76	0.65	0.53	0.39	0.30
2+000	0.867	1.10	0.82	0.69	0.58	0.48	0.34	0.16
2+500	1.089	1.92	1.57	1.29	1.06	0.84	0.55	0.42
3+000	0.834	1.58	1.25	0.95	0.78	0.58	0.39	0.16

3+500	1.056	1.47	1.20	1.02	0.81	0.63	0.44	0.33
4+000	0.823	1.85	1.51	1.31	1.08	0.85	0.50	0.02
4+500	1.078	1.73	1.49	1.11	0.76	0.48	0.24	0.16
5+000	1.022	1.20	0.97	0.73	0.61	0.45	0.31	0.19
5+500	1.089	1.46	1.44	1.18	0.85	0.60	0.37	0.23
6+000	0.823	0.71	0.52	0.39	0.30	0.22	0.14	0.07
6+500	1.089	0.68	0.44	0.31	0.22	0.12	0.08	0.03
7+000	0.834	0.47	0.22	0.14	0.09	0.05	0.02	0.00
7+500	1.089	0.43	0.28	0.19	0.12	0.06	0.02	0.01
8+000	0.878	1.47	1.02	0.80	0.63	0.47	0.32	0.03
8+500	1.089	1.46	1.19	0.97	0.79	0.62	0.42	0.24
9+000	0.778	1.47	1.02	0.80	0.63	0.47	0.32	0.03
9+500	1.078	1.08	0.79	0.59	0.42	0.28	0.18	0.14
10+000	0.800	1.47	1.02	0.80	0.63	0.47	0.32	0.03
10+500	1.078	1.36	1.20	0.91	0.68	0.46	0.25	0.12
11+000	0.778	1.64	1.13	0.73	0.52	0.37	0.23	0.07
11+500	1.056	0.90	0.60	0.41	0.32	0.22	0.17	0.13
12+000	0.845	1.22	0.90	0.67	0.49	0.36	0.24	0.13
12+500	1.056	0.81	0.58	0.42	0.29	0.18	0.08	0.03
13+000	0.845	1.23	0.92	0.72	0.55	0.39	0.22	0.05
13+500	1.045	1.24	0.81	0.60	0.41	0.25	0.10	0.05
14+000	0.845	1.23	0.92	0.72	0.55	0.39	0.22	0.04
14+500	1.022	1.48	1.07	0.72	0.55	0.34	0.15	0.07
15+000	0.867	1.45	1.25	0.98	0.76	0.54	0.33	0.21
15+500	1.056	0.91	0.88	0.61	0.46	0.29	0.21	0.03
16+000	0.856	1.06	0.78	0.58	0.41	0.28	0.15	0.03
16+500	1.034	1.54	1.18	0.87	0.62	0.43	0.28	0.19
17+000	0.845	1.52	1.26	0.97	0.75	0.57	0.37	0.01
17+500	1.011	1.13	0.68	0.42	0.28	0.16	0.09	0.06
18+000	0.878	1.45	1.41	1.11	0.84	0.67	0.41	0.05
18+500	1.022	0.67	0.39	0.29	0.19	0.11	0.05	0.03
19+000	0.834	0.96	0.71	0.59	0.46	0.35	0.24	0.03
19+500	0.989	1.52	1.19	0.99	0.72	0.51	0.31	0.20
20+000	0.823	1.71	1.39	1.14	0.85	0.65	0.43	0.02
20+500	1.000	1.69	1.38	1.13	0.88	0.66	0.41	0.30
21+000	0.845	1.27	1.15	1.04	0.85	0.66	0.44	0.00
21+500	1.011	1.91	1.45	1.03	1.00	0.80	0.57	0.40
22+000	0.800	1.87	1.67	1.40	1.08	0.78	0.50	0.00
22+500	1.034	1.65	1.40	1.02	0.95	0.67	0.44	0.30
23+000	0.756	1.25	1.07	0.86	0.69	0.52	0.33	0.06
23+500	1.011	1.39	0.98	0.74	0.55	0.41	0.27	0.21
24+000	0.767	0.98	0.73	0.57	0.44	0.30	0.15	0.00
24+500	1.011	0.49	0.31	0.23	0.16	0.10	0.05	0.01
25+000	0.745	1.89	1.62	1.30	1.04	0.80	0.61	0.03
25+500	1.034	1.72	1.65	1.27	0.91	0.58	0.36	0.04
26+000	0.756	1.95	1.74	1.35	1.06	0.73	0.46	0.26
26+500	1.000	1.95	1.82	1.50	1.15	0.84	0.51	0.04
27+000	0.789	2.20	2.00	1.64	1.37	1.03	0.66	0.37
27+500	1.000	1.74	1.69	1.25	0.99	0.72	0.43	0.23
28+000	0.789	1.94	1.61	1.30	0.96	0.61	0.43	0.11
28+500	1.011	1.53	1.44	1.02	0.79	0.57	0.36	0.01
29+000	0.745	1.91	1.74	1.40	1.08	0.79	0.51	0.30
29+500	1.011	1.94	1.68	1.39	1.09	0.81	0.54	0.05
30+000	0.734	1.40	0.99	0.77	0.60	0.43	0.26	0.19
30+500	1.022	2.28	2.13	1.73	1.22	0.81	0.35	0.01
31+000	0.778	1.59	1.07	0.86	0.62	0.45	0.27	0.01

31+500	1.011	2.18	1.69	1.40	1.06	0.78	0.52	0.10
32+000	0.812	1.71	1.27	0.97	0.73	0.53	0.37	0.10
32+500	0.978	1.76	1.70	1.39	1.06	0.78	0.48	0.10
33+000	0.800	1.85	1.81	1.40	1.04	0.72	0.41	0.28
33+500	0.989	1.85	1.79	1.72	1.40	0.96	0.26	0.03
34+000	0.745	2.42	2.15	1.82	1.32	0.73	0.41	0.01
34+500	0.978	1.62	1.55	1.28	1.05	0.79	0.48	0.10
35+000	0.789	1.93	1.71	1.54	1.16	0.86	0.51	0.16
35+500	0.989	1.60	1.49	1.03	0.85	0.65	0.48	0.05
36+000	0.745	1.91	1.80	1.56	1.21	0.90	0.55	0.33
36+500	0.945	1.63	1.30	1.10	0.88	0.63	0.39	0.06
37+000	0.734	1.62	1.33	1.12	0.93	0.73	0.46	0.02
37+500	0.945	1.78	1.49	1.20	0.92	0.67	0.38	0.02
38+000	0.778	1.71	1.42	1.17	0.93	0.73	0.49	0.26
38+500	1.011	1.60	1.30	1.06	0.82	0.65	0.46	0.02
39+000	0.767	1.87	1.78	1.51	1.21	0.92	0.55	0.02
39+500	0.967	1.53	1.45	1.14	0.88	0.66	0.43	0.34
40+000	0.800	1.84	1.56	1.28	1.02	0.77	0.50	0.03
40+500	0.956	2.04	1.96	1.56	1.41	1.09	0.71	0.10
40+800	0.756	1.07	0.68	0.52	0.41	0.34	0.26	0.19

5. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes

Tabla 30. Deflexiones medidas – Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes (PEPSA, 2023)

ESTACIÓN	PRESIÓN EFECTIVA (KPa)	DEFLEXIONES MEDIDAS (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
0+000	958.06	0.556	0.510	0.462	0.385	0.348	0.242	0.149
0+500	1156.14	0.665	0.661	0.627	0.597	0.529	0.291	0.184
1+000	794.06	1.394	1.337	1.010	0.708	0.528	0.331	0.272
1+500	1058.66	2.345	2.089	1.479	1.132	0.854	0.584	0.422
2+000	959.61	1.482	1.482	1.404	0.907	0.430	0.379	0.203
2+500	978.20	1.844	1.627	1.150	1.048	0.797	0.527	0.346
3+000	890.01	2.369	2.259	1.828	1.366	1.189	0.805	0.596
3+500	944.11	1.690	1.527	1.297	0.996	0.787	0.553	0.422
4+000	1030.91	1.438	1.232	0.935	0.568	0.507	0.346	0.222
4+500	970.46	1.204	1.111	0.840	0.572	0.403	0.277	0.112
5+000	809.57	1.916	1.765	1.569	1.356	1.166	0.774	0.599
5+500	968.91	1.118	1.026	0.858	0.576	0.434	0.272	0.194
6+000	919.31	1.772	1.650	1.463	1.148	0.943	0.683	0.536
6+500	1077.25	1.144	0.715	0.556	0.398	0.272	0.147	0.083
7+000	962.71	1.589	1.474	1.259	0.983	0.847	0.642	0.500
7+500	953.40	1.690	1.601	1.373	1.119	0.886	0.618	0.460
8+000	897.61	1.787	1.628	1.380	0.903	0.749	0.436	0.283
8+500	806.31	2.233	1.828	1.473	1.175	0.953	0.670	0.498
9+000	1020.06	1.893	1.838	1.539	1.150	0.947	0.798	0.628
9+500	922.41	1.647	1.591	1.268	1.018	0.815	0.614	0.467
10+000	968.91	1.382	1.349	1.315	1.299	1.222	0.648	0.454
10+500	931.70	1.808	1.732	1.462	1.187	0.930	0.644	0.454
11+000	1052.45	1.511	1.429	1.158	0.780	0.688	0.419	0.279
11+500	993.71	1.865	1.619	1.282	0.933	0.648	0.365	0.209
12+000	999.90	2.002	1.938	1.589	1.255	1.036	0.730	0.538

12+500	1086.55	1.229	0.829	0.633	0.456	0.355	0.264	0.218
13+000	845.06	1.994	1.926	1.515	1.053	0.863	0.569	0.427
13+500	978.20	1.986	1.903	1.555	1.187	0.836	0.647	0.491
14+000	976.66	2.201	2.031	1.655	1.123	0.966	0.543	0.505
14+500	1026.26	1.116	0.913	0.695	0.486	0.315	0.197	0.163
15+000	973.56	1.787	1.701	1.265	0.719	0.595	0.336	0.218
15+500	967.35	2.201	1.921	1.521	1.240	0.971	0.604	0.403
16+000	981.31	1.623	1.198	0.932	0.612	0.525	0.376	0.296
16+500	965.81	1.267	1.168	1.029	0.818	0.584	0.382	0.257
17+000	975.10	1.978	1.931	1.768	1.029	0.785	0.426	0.289
17+500	1080.36	1.382	1.237	1.080	0.941	0.781	0.598	0.468
18+000	1026.26	2.104	1.795	1.512	1.299	1.091	0.778	0.575
18+500	1047.81	1.589	1.404	1.219	0.960	0.744	0.476	0.282
19+000	962.71	1.721	1.482	1.178	0.826	0.808	0.586	0.453
19+500	1024.55	1.078	0.930	0.717	0.502	0.338	0.221	0.175
20+000	1009.21	1.272	1.217	0.989	0.682	0.658	0.492	0.385
20+500	1086.55	0.544	0.487	0.397	0.289	0.206	0.139	0.107
21+000	961.15	1.970	1.938	1.601	1.159	1.063	0.799	0.568
21+500	1044.71	1.351	1.246	1.084	0.815	0.608	0.416	0.302
22+000	1067.95	1.678	1.384	1.006	0.773	0.590	0.420	0.338
22+500	1026.26	1.589	1.500	1.262	0.969	0.651	0.383	0.267
23+000	1066.41	1.690	1.488	1.113	0.863	0.604	0.404	0.267
23+500	1058.66	0.879	0.821	0.611	0.434	0.254	0.145	0.093
24+000	1013.70	1.298	1.226	0.998	0.707	0.517	0.298	0.199
24+500	1057.26	1.379	0.955	0.765	0.621	0.478	0.298	0.191
25+000	1117.55	1.056	0.793	0.650	0.535	0.413	0.304	0.240
25+500	1067.95	0.696	0.405	0.306	0.270	0.201	0.156	0.126
26+000	1122.21	0.509	0.204	0.142	0.107	0.076	0.046	0.029
26+500	948.76	0.731	0.434	0.268	0.235	0.160	0.080	0.049
27+000	1081.90	0.876	0.417	0.288	0.190	0.148	0.104	0.082
27+500	945.66	1.158	0.795	0.633	0.495	0.402	0.280	0.200
28+000	1074.15	0.797	0.506	0.396	0.289	0.209	0.139	0.100
28+500	964.25	1.015	0.751	0.569	0.417	0.346	0.249	0.192
29+000	1080.36	1.243	0.940	0.679	0.502	0.366	0.246	0.182
29+200	1111.35	1.155	0.397	0.297	0.253	0.190	0.137	0.115

Tabla 31. Deflexiones corregidas – Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes (PEPSA, 2023).

ESTACIÓN	Coeficiente Corrección por Temperatura	DEFLEXIONES CORREGIDAS A 700MPa (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
0+000	0.878	0.57	0.53	0.48	0.40	0.36	0.25	0.15
0+500	1.022	0.66	0.66	0.62	0.59	0.53	0.29	0.18
1+000	0.823	1.44	1.38	1.04	0.73	0.55	0.34	0.28
1+500	1.045	2.33	2.08	1.47	1.12	0.85	0.58	0.42
2+000	0.867	1.53	1.53	1.45	0.94	0.44	0.39	0.21
2+500	1.089	1.83	1.62	1.14	1.04	0.79	0.52	0.34
3+000	0.834	2.45	2.34	1.89	1.41	1.23	0.83	0.62
3+500	1.056	1.68	1.52	1.29	0.99	0.78	0.55	0.42
4+000	0.823	1.49	1.27	0.97	0.59	0.52	0.36	0.23
4+500	1.078	1.20	1.10	0.83	0.57	0.40	0.28	0.11
5+000	1.022	1.98	1.82	1.62	1.40	1.21	0.80	0.62
5+500	1.089	1.11	1.02	0.85	0.57	0.43	0.27	0.19

6+000	0.823	1.83	1.71	1.51	1.19	0.98	0.71	0.55
6+500	1.089	1.14	0.71	0.55	0.40	0.27	0.15	0.08
7+000	0.834	1.64	1.52	1.30	1.02	0.88	0.66	0.52
7+500	1.089	1.68	1.59	1.36	1.11	0.88	0.61	0.46
8+000	0.878	1.85	1.68	1.43	0.93	0.77	0.45	0.29
8+500	1.089	2.22	1.82	1.46	1.17	0.95	0.67	0.49
9+000	0.778	1.96	1.90	1.59	1.19	0.98	0.83	0.65
9+500	1.078	1.64	1.58	1.26	1.01	0.81	0.61	0.46
10+000	0.800	1.43	1.39	1.36	1.34	1.26	0.67	0.47
10+500	1.078	1.80	1.72	1.45	1.18	0.92	0.64	0.45
11+000	0.778	1.56	1.48	1.20	0.81	0.71	0.43	0.29
11+500	1.056	1.85	1.61	1.27	0.93	0.64	0.36	0.21
12+000	0.845	2.07	2.00	1.64	1.30	1.07	0.75	0.56
12+500	1.056	1.22	0.82	0.63	0.45	0.35	0.26	0.22
13+000	0.845	2.06	1.99	1.57	1.09	0.89	0.59	0.44
13+500	1.045	1.97	1.89	1.54	1.18	0.83	0.64	0.49
14+000	0.845	2.28	2.10	1.71	1.16	1.00	0.56	0.52
14+500	1.022	1.11	0.91	0.69	0.48	0.31	0.20	0.16
15+000	0.867	1.85	1.76	1.31	0.74	0.62	0.35	0.23
15+500	1.056	2.19	1.91	1.51	1.23	0.96	0.60	0.40
16+000	0.856	1.68	1.24	0.96	0.63	0.54	0.39	0.31
16+500	1.034	1.26	1.16	1.02	0.81	0.58	0.38	0.26
17+000	0.845	2.04	2.00	1.83	1.06	0.81	0.44	0.30
17+500	1.011	1.37	1.23	1.07	0.93	0.78	0.59	0.47
18+000	0.878	2.17	1.86	1.56	1.34	1.13	0.80	0.59
18+500	1.022	1.58	1.39	1.21	0.95	0.74	0.47	0.28
19+000	0.834	1.78	1.53	1.22	0.85	0.84	0.61	0.47
19+500	0.989	1.07	0.92	0.71	0.50	0.34	0.22	0.17
20+000	0.823	1.31	1.26	1.02	0.71	0.68	0.51	0.40
20+500	1.000	0.54	0.48	0.39	0.29	0.20	0.14	0.11
21+000	0.845	2.04	2.00	1.65	1.20	1.10	0.83	0.59
21+500	1.011	1.34	1.24	1.08	0.81	0.60	0.41	0.30
22+000	0.800	1.73	1.43	1.04	0.80	0.61	0.43	0.35
22+500	1.034	1.58	1.49	1.25	0.96	0.65	0.38	0.27
23+000	0.756	1.75	1.54	1.15	0.89	0.62	0.42	0.28
23+500	1.011	0.87	0.82	0.61	0.43	0.25	0.14	0.09
24+000	0.767	1.34	1.27	1.03	0.73	0.53	0.31	0.21
24+500	1.011	1.37	0.95	0.76	0.62	0.47	0.30	0.19
25+000	0.745	1.09	0.82	0.67	0.55	0.43	0.31	0.25
25+500	1.034	0.69	0.40	0.30	0.27	0.20	0.16	0.12
26+000	0.756	0.53	0.21	0.15	0.11	0.08	0.05	0.03
26+500	1.000	0.73	0.43	0.27	0.23	0.16	0.08	0.05
27+000	0.789	0.91	0.43	0.30	0.20	0.15	0.11	0.08
27+500	1.000	1.15	0.79	0.63	0.49	0.40	0.28	0.20
28+000	0.789	0.82	0.52	0.41	0.30	0.22	0.14	0.10
28+500	1.011	1.01	0.75	0.57	0.41	0.34	0.25	0.19
29+000	0.745	1.28	0.97	0.70	0.52	0.38	0.25	0.19
29+200	1.011	1.19	0.41	0.31	0.26	0.20	0.14	0.12

- **Deflexiones Grupo 5B**

6. E.C. (Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta

Tabla 32. Deflexiones medidas – E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta (PEPSA, 2023).

ESTACIÓN	PRESIÓN EFECTIVA (kPa)	DEFLEXIONES MEDIDAS (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
0+000	961.15	1.034	0.723	0.567	0.405	0.300	0.196	0.143
0+500	922.41	1.779	1.404	1.100	0.746	0.574	0.325	0.214
1+000	1009.21	1.037	0.761	0.609	0.456	0.356	0.243	0.180
1+500	967.35	0.737	0.331	0.206	0.099	0.046	0.008	0.004
2+000	1089.65	1.406	0.917	0.788	0.465	0.321	0.154	0.082
2+500	906.90	1.787	1.679	1.309	0.797	0.573	0.272	0.186
3+000	1088.10	1.293	1.243	0.974	0.672	0.555	0.339	0.235
3+500	978.20	1.068	0.782	0.609	0.404	0.294	0.133	0.060
4+000	993.71	0.857	0.550	0.428	0.294	0.242	0.150	0.109
4+500	954.96	1.353	1.036	0.822	0.583	0.437	0.267	0.180
5+000	959.61	1.779	1.390	1.143	0.847	0.678	0.390	0.266
5+500	982.86	1.111	0.690	0.493	0.335	0.253	0.168	0.133
6+000	1006.11	1.603	1.294	1.060	0.689	0.471	0.257	0.152
6+500	890.01	1.797	1.387	1.129	0.696	0.582	0.438	0.240
7+000	1041.75	1.527	0.882	0.698	0.497	0.356	0.212	0.161
7+500	956.66	1.213	0.820	0.630	0.484	0.386	0.263	0.187
8+000	1020.06	0.845	0.641	0.403	0.219	0.144	0.053	0.038
8+500	942.55	1.191	0.924	0.670	0.459	0.283	0.201	0.165
9+000	982.86	1.528	1.160	0.857	0.479	0.346	0.177	0.095
9+500	880.71	0.852	0.675	0.466	0.305	0.212	0.100	0.054
10+000	910.17	1.181	1.118	0.916	0.674	0.510	0.300	0.192
10+500	978.20	0.895	0.517	0.374	0.240	0.169	0.113	0.104
11+000	981.12	1.258	1.091	0.900	0.501	0.124	0.251	0.151
11+500	964.25	1.007	0.699	0.550	0.373	0.311	0.177	0.105
12+000	1072.92	0.521	0.458	0.354	0.259	0.125	0.099	0.050
12+500	961.15	0.861	0.772	0.656	0.526	0.465	0.315	0.217
12+800	1094.51	0.496	0.402	0.352	0.303	0.252	0.171	0.116
12+800	965.81	0.674	0.517	0.436	0.271	0.234	0.178	0.117

Tabla 33. Deflexiones medidas – E.C. (Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta (PEPSA, 2023)

ESTACIÓN	Coeficiente Corrección por Temperatura	DEFLEXIONES CORREGIDAS A 700MPa (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
0+000	0.856	1.07	0.74	0.58	0.42	0.31	0.20	0.15
0+500	0.867	1.82	1.44	1.13	0.77	0.59	0.33	0.22
1+000	0.745	1.07	0.78	0.63	0.47	0.37	0.25	0.19
1+500	0.767	0.76	0.34	0.21	0.10	0.05	0.01	0.00
2+000	0.734	1.45	0.95	0.81	0.48	0.33	0.16	0.08
2+500	0.778	1.83	1.72	1.34	0.82	0.59	0.28	0.19
3+000	0.756	1.33	1.28	1.00	0.69	0.57	0.35	0.24
3+500	0.778	1.10	0.80	0.62	0.41	0.30	0.14	0.06
4+000	0.812	0.88	0.57	0.44	0.30	0.25	0.15	0.11
4+500	0.800	1.39	1.06	0.84	0.60	0.45	0.27	0.18
5+000	0.889	1.83	1.43	1.18	0.87	0.70	0.40	0.27
5+500	0.867	1.14	0.71	0.51	0.34	0.26	0.17	0.14
6+000	0.823	1.65	1.33	1.09	0.71	0.49	0.26	0.16
6+500	0.723	1.84	1.42	1.16	0.71	0.60	0.45	0.25

7+000	0.778	1.57	0.91	0.72	0.51	0.37	0.22	0.17
7+500	0.789	1.24	0.84	0.65	0.50	0.40	0.27	0.19
8+000	1.067	0.87	0.66	0.41	0.23	0.15	0.05	0.04
8+500	0.856	1.22	0.95	0.69	0.47	0.29	0.21	0.17
9+000	0.800	1.57	1.19	0.88	0.49	0.36	0.18	0.10
9+500	0.689	0.87	0.69	0.48	0.31	0.22	0.10	0.06
10+000	0.767	1.22	1.15	0.94	0.69	0.53	0.31	0.20
10+500	0.911	0.92	0.53	0.38	0.25	0.17	0.12	0.11
11+000	0.800	1.30	1.12	0.93	0.52	0.33	0.26	0.16
11+500	0.812	1.03	0.72	0.56	0.38	0.32	0.18	0.11
12+000	0.867	0.54	0.47	0.36	0.27	0.13	0.10	0.05
12+500	0.878	0.79	0.72	0.67	0.54	0.48	0.32	0.22
12+800	0.856	0.51	0.41	0.36	0.31	0.26	0.18	0.12
12+800	0.645	0.69	0.53	0.45	0.28	0.24	0.18	0.12

7. Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo

Tabla 34. Deflexiones medidas, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo, (PEPSA, 2023).

ESTACIÓN	PRESIÓN EFECTIVA (KPa)	DEFLEXIONES MEDIDAS (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
1+000	990.61	0.845	0.594	0.429	0.350	0.262	0.195	0.158
1+500	971.05	0.890	0.582	0.438	0.319	0.225	0.158	0.093
2+000	923.96	1.202	1.102	0.862	0.614	0.424	0.242	0.177
3+000	868.31	2.377	1.985	1.563	1.168	0.815	0.507	0.350
4+000	1012.31	1.061	0.484	0.311	0.184	0.108	0.049	0.033
5+000	987.35	1.010	0.724	0.537	0.386	0.227	0.128	0.099
6+000	941.16	0.722	0.692	0.503	0.338	0.222	0.144	0.105
7+000	908.46	2.042	1.926	1.289	1.038	0.662	0.366	0.244
8+000	890.01	2.321	2.234	1.474	1.285	0.803	0.385	0.151
9+000	959.61	1.282	0.761	0.532	0.321	0.166	0.057	0.036
10+000	956.66	1.777	1.337	1.048	0.785	0.561	0.307	0.207
11+000	972.01	1.121	0.861	0.702	0.542	0.404	0.258	0.188
12+000	933.26	1.033	0.871	0.680	0.499	0.348	0.189	0.120
13+000	1009.21	1.861	0.635	0.456	0.299	0.164	0.058	0.033
13+500	987.35	1.794	1.726	1.202	0.862	0.375	0.291	0.187
14+000	1013.70	0.505	0.442	0.401	0.398	0.331	0.199	0.095
14+500	947.21	1.179	1.113	0.918	0.625	0.370	0.211	0.124
15+000	1007.50	0.795	0.735	0.695	0.676	0.632	0.538	0.430
15+500	939.45	1.934	1.511	1.221	0.957	0.684	0.425	0.275
16+000	968.91	1.728	1.359	1.100	0.889	0.693	0.476	0.339
16+500	992.15	0.970	0.675	0.512	0.369	0.250	0.138	0.115
17+000	987.35	0.884	0.582	0.418	0.284	0.199	0.123	0.101
17+500	1006.11	1.027	0.681	0.523	0.376	0.254	0.137	0.070
18+000	1012.31	0.832	0.486	0.341	0.209	0.112	0.059	0.039
18+500	985.95	1.252	1.053	0.803	0.593	0.415	0.232	0.165
19+000	953.40	1.029	0.741	0.537	0.299	0.152	0.083	0.073
19+500	871.41	1.986	1.932	1.534	1.210	0.791	0.592	0.372
20+000	888.47	1.165	1.129	0.854	0.602	0.483	0.383	0.249
20+500	848.16	1.110	1.027	0.714	0.522	0.357	0.239	0.163
21+000	863.67	1.511	1.190	0.863	0.655	0.436	0.225	0.158
21+500	908.46	1.413	1.165	0.891	0.681	0.437	0.244	0.185
22+000	900.86	1.643	0.958	0.700	0.498	0.361	0.194	0.087
22+500	968.91	0.670	0.307	0.203	0.141	0.092	0.061	0.042

23+000	1010.75	0.970	0.563	0.378	0.284	0.205	0.127	0.087
23+500	992.15	0.790	0.311	0.209	0.142	0.091	0.062	0.042
24+000	993.71	1.289	0.859	0.622	0.422	0.229	0.105	0.100
24+500	1030.91	1.377	1.329	0.929	0.651	0.404	0.184	0.067
25+000	1006.11	1.558	1.001	0.654	0.430	0.249	0.160	0.129
25+500	1037.11	0.702	0.389	0.289	0.208	0.154	0.119	0.043
26+000	1015.41	1.240	0.783	0.490	0.277	0.119	0.094	0.029
26+500	1043.15	1.522	1.053	0.678	0.483	0.314	0.164	0.083
27+000	837.31	1.879	1.439	1.092	0.790	0.502	0.280	0.159
27+500	967.35	1.197	0.799	0.551	0.413	0.266	0.200	0.145
28+000	831.27	0.605	0.399	0.272	0.172	0.098	0.031	0.014
28+500	744.46	0.745	0.438	0.342	0.256	0.150	0.083	0.053
29+000	1023.01	0.750	0.347	0.259	0.175	0.119	0.073	0.055
29+500	1037.11	1.431	0.761	0.504	0.332	0.232	0.171	0.118
30+000	916.36	1.474	1.261	0.896	0.599	0.395	0.233	0.156
30+500	1027.65	1.766	0.754	0.502	0.316	0.220	0.163	0.115
31+000	934.81	0.769	0.520	0.381	0.275	0.194	0.114	0.082
31+500	1033.86	0.790	0.739	0.578	0.387	0.245	0.131	0.094
32+000	978.20	0.809	0.465	0.324	0.201	0.132	0.076	0.059
32+500	1055.56	0.674	0.279	0.194	0.121	0.079	0.046	0.035
33+000	1002.85	0.651	0.503	0.359	0.238	0.149	0.079	0.056
33+500	985.95	0.946	0.299	0.211	0.141	0.086	0.048	0.034
34+000	992.15	1.080	0.580	0.385	0.212	0.092	0.036	0.039
34+500	1012.31	1.666	0.796	0.604	0.423	0.284	0.175	0.126
35+000	995.26	1.260	0.844	0.543	0.345	0.179	0.037	0.017
35+500	998.21	1.446	0.906	0.690	0.465	0.316	0.198	0.148
36+000	956.66	1.959	1.778	1.241	0.838	0.534	0.328	0.271
36+500	956.66	0.725	0.677	0.505	0.334	0.210	0.131	0.086
37+000	993.71	0.729	0.710	0.501	0.308	0.171	0.063	0.045
37+500	961.15	0.874	0.459	0.311	0.186	0.087	0.027	0.024
38+000	1023.01	0.749	0.457	0.303	0.205	0.133	0.061	0.046
38+500	953.40	0.794	0.442	0.297	0.196	0.128	0.056	0.031
39+000	1043.15	0.781	0.496	0.356	0.264	0.163	0.079	0.032
39+500	905.51	1.114	0.965	0.789	0.548	0.412	0.215	0.136
40+000	1018.35	1.059	0.589	0.396	0.262	0.171	0.074	0.041
40+500	965.81	1.153	0.521	0.329	0.206	0.099	0.035	0.016
41+000	1037.11	0.833	0.601	0.481	0.383	0.301	0.204	0.150
41+500	937.91	0.752	0.493	0.355	0.238	0.142	0.060	0.029
42+000	953.40	1.064	0.425	0.311	0.213	0.140	0.081	0.055
42+500	1004.56	0.907	0.596	0.383	0.303	0.199	0.125	0.084
43+000	953.40	0.749	0.499	0.341	0.243	0.161	0.077	0.041
43+500	925.66	1.194	1.117	0.775	0.656	0.440	0.311	0.120
44+000	996.81	1.063	0.731	0.509	0.328	0.207	0.136	0.066
44+500	936.51	0.754	0.573	0.434	0.328	0.207	0.137	0.062
45+000	970.46	1.055	0.711	0.519	0.384	0.267	0.183	0.149
45+500	1023.01	1.180	0.800	0.516	0.308	0.178	0.088	0.063
46+000	1002.85	0.745	0.531	0.419	0.294	0.205	0.118	0.082
46+500	883.81	0.968	0.644	0.451	0.311	0.200	0.112	0.083
47+000	914.81	0.772	0.486	0.367	0.268	0.192	0.121	0.088
47+500	934.81	0.663	0.623	0.462	0.336	0.215	0.128	0.097
48+000	1038.50	0.971	0.542	0.353	0.239	0.166	0.117	0.089
48+500	1002.85	1.124	0.918	0.745	0.539	0.373	0.231	0.180
49+000	1023.01	0.807	0.487	0.333	0.208	0.120	0.054	0.026
49+500	882.10	1.123	0.833	0.617	0.454	0.326	0.213	0.161
50+000	959.61	0.859	0.617	0.462	0.347	0.223	0.135	0.079
50+500	978.20	0.965	0.608	0.459	0.335	0.240	0.152	0.110

51+000	962.71	0.918	0.608	0.458	0.343	0.234	0.137	0.078
51+500	1049.35	0.663	0.391	0.278	0.197	0.136	0.085	0.049
52+000	906.90	0.892	0.651	0.481	0.366	0.274	0.179	0.119
52+500	1116.01	0.519	0.305	0.197	0.113	0.065	0.053	0.042
53+000	981.31	0.837	0.820	0.651	0.482	0.353	0.211	0.142
53+500	1067.95	0.781	0.563	0.384	0.241	0.149	0.087	0.069
54+000	1027.65	0.788	0.657	0.470	0.319	0.218	0.120	0.072
54+500	1015.41	0.998	0.702	0.528	0.378	0.262	0.172	0.124
55+000	1010.75	0.871	0.586	0.432	0.303	0.216	0.104	0.051
55+500	1002.85	0.742	0.517	0.374	0.284	0.188	0.092	0.047
56+000	1037.11	0.965	0.630	0.480	0.327	0.207	0.105	0.052
56+500	1029.20	0.885	0.638	0.446	0.321	0.228	0.131	0.084
57+000	937.91	0.870	0.833	0.564	0.360	0.225	0.090	0.063
57+500	1020.06	0.812	0.606	0.448	0.327	0.223	0.136	0.091
58+000	948.76	0.842	0.490	0.340	0.248	0.141	0.094	0.058
58+500	910.17	1.138	0.770	0.558	0.406	0.258	0.126	0.080
59+000	934.81	1.109	0.745	0.607	0.457	0.339	0.231	0.174
59+500	962.71	1.126	0.700	0.489	0.309	0.195	0.102	0.068
60+000	1040.05	1.044	0.813	0.681	0.516	0.378	0.230	0.164
60+500	985.95	0.967	0.425	0.236	0.116	0.065	0.019	0.012
61+000	1063.30	0.810	0.584	0.457	0.337	0.250	0.165	0.127
61+500	999.90	1.178	0.839	0.630	0.463	0.319	0.215	0.159
62+000	1054.00	0.842	0.503	0.401	0.336	0.275	0.200	0.152
62+500	1021.60	0.785	0.603	0.470	0.365	0.259	0.166	0.117
63+000	1052.45	1.302	0.909	0.721	0.563	0.414	0.298	0.227
63+500	916.36	0.919	0.693	0.561	0.436	0.349	0.263	0.205
64+000	1055.56	1.444	1.154	0.879	0.692	0.544	0.369	0.300
64+500	979.76	1.167	0.875	0.713	0.564	0.398	0.285	0.219
65+000	1055.56	0.814	0.638	0.500	0.404	0.284	0.199	0.148
65+500	891.56	0.741	0.536	0.418	0.342	0.243	0.158	0.117
66+000	1026.26	0.919	0.649	0.542	0.436	0.350	0.246	0.188
66+500	964.25	0.732	0.508	0.409	0.323	0.248	0.185	0.161
67+000	1055.56	0.844	0.606	0.499	0.412	0.332	0.251	0.202
67+500	862.11	1.252	0.967	0.707	0.529	0.429	0.254	0.176
68+000	981.31	1.292	1.115	0.887	0.657	0.457	0.250	0.158
68+500	927.06	0.777	0.519	0.407	0.321	0.248	0.166	0.107
69+000	1001.46	1.275	0.622	0.427	0.328	0.230	0.155	0.121
69+500	981.31	0.694	0.439	0.304	0.229	0.130	0.048	0.024
70+000	1040.05	1.129	0.811	0.695	0.551	0.437	0.337	0.248
70+500	973.56	0.988	0.619	0.497	0.403	0.321	0.220	0.154
71+000	1102.05	0.627	0.340	0.210	0.145	0.082	0.049	0.026
71+500	961.15	0.769	0.491	0.317	0.244	0.167	0.102	0.064
72+000	1052.45	1.164	0.863	0.682	0.513	0.363	0.208	0.129
72+500	941.16	0.994	0.739	0.599	0.502	0.388	0.218	0.104
73+000	1058.66	0.823	0.556	0.397	0.265	0.144	0.042	0.008
73+500	982.86	1.007	0.755	0.571	0.419	0.299	0.172	0.113
74+000	1075.70	0.694	0.455	0.273	0.193	0.101	0.041	0.019
74+500	1029.20	0.840	0.513	0.337	0.223	0.133	0.068	0.048
75+000	1055.56	1.241	0.872	0.660	0.476	0.313	0.139	0.079
75+500	995.26	0.892	0.585	0.462	0.336	0.230	0.126	0.081
76+000	1061.91	1.229	0.941	0.723	0.514	0.334	0.139	0.074
76+500	951.86	0.952	0.692	0.520	0.368	0.229	0.087	0.024
77+000	1047.81	1.169	0.798	0.604	0.472	0.347	0.194	0.120
77+500	973.56	1.218	0.880	0.683	0.526	0.375	0.224	0.134
78+000	976.66	0.941	0.746	0.612	0.479	0.364	0.241	0.172
78+500	916.36	1.179	1.114	0.887	0.719	0.555	0.375	0.274

79+000	984.41	1.308	1.239	0.946	0.663	0.419	0.181	0.090
79+500	964.25	1.183	0.869	0.682	0.521	0.372	0.212	0.118
80+000	1026.26	0.737	0.464	0.364	0.275	0.201	0.122	0.079
80+500	956.66	1.186	0.799	0.658	0.503	0.381	0.250	0.162
81+000	1050.90	0.882	0.570	0.429	0.337	0.237	0.134	0.078
81+500	998.21	0.890	0.593	0.448	0.333	0.231	0.119	0.066
82+000	1027.65	1.238	0.904	0.705	0.583	0.455	0.324	0.214
82+500	953.40	0.775	0.568	0.453	0.353	0.272	0.184	0.156
83+000	1061.91	0.754	0.456	0.318	0.210	0.131	0.069	0.043
83+500	1010.75	0.642	0.287	0.191	0.121	0.077	0.047	0.031
84+000	879.16	0.737	0.388	0.318	0.263	0.178	0.104	0.067
84+500	981.31	1.145	0.850	0.614	0.445	0.285	0.150	0.086
85+000	1009.21	1.101	0.834	0.666	0.504	0.375	0.245	0.167
85+500	923.96	1.087	0.747	0.516	0.368	0.245	0.117	0.048
86+000	1047.81	1.126	0.976	0.596	0.421	0.306	0.182	0.086
86+500	851.26	1.092	0.965	0.600	0.490	0.384	0.271	0.198
87+000	1035.55	0.778	0.541	0.411	0.307	0.225	0.139	0.080
87+500	965.81	1.411	0.752	0.512	0.371	0.263	0.166	0.107
88+000	1021.60	0.884	0.600	0.463	0.341	0.242	0.131	0.091
88+500	948.76	0.956	0.616	0.463	0.330	0.230	0.127	0.080
89+000	1054.00	0.727	0.372	0.263	0.171	0.104	0.046	0.028
89+500	1002.85	1.276	0.838	0.588	0.415	0.274	0.151	0.104
90+000	998.21	1.113	1.070	0.925	0.748	0.578	0.400	0.295
90+500	933.26	0.934	0.638	0.461	0.341	0.247	0.165	0.127
91+000	1037.11	0.769	0.538	0.394	0.262	0.167	0.095	0.056
91+500	928.60	0.832	0.587	0.435	0.308	0.205	0.117	0.083
92+000	1054.00	0.739	0.543	0.494	0.395	0.310	0.201	0.132
92+500	975.10	0.676	0.561	0.494	0.433	0.355	0.229	0.142
93+000	1023.01	0.906	0.674	0.531	0.416	0.314	0.201	0.121
93+500	953.40	1.010	0.907	0.760	0.601	0.454	0.297	0.203
94+000	919.31	0.853	0.854	0.791	0.653	0.500	0.305	0.138
94+500	928.60	1.303	1.016	0.840	0.668	0.503	0.288	0.177
95+000	982.86	0.969	0.735	0.594	0.459	0.344	0.216	0.146
95+500	1013.70	1.173	0.832	0.603	0.402	0.255	0.128	0.083
96+000	978.20	1.124	0.762	0.588	0.454	0.339	0.228	0.143
96+500	902.26	1.438	0.920	0.659	0.456	0.299	0.138	0.060
97+000	1016.95	1.412	1.003	0.817	0.594	0.436	0.270	0.174
97+500	947.21	1.138	0.704	0.551	0.433	0.317	0.209	0.154
98+000	1006.11	0.927	0.580	0.454	0.350	0.269	0.180	0.119
98+500	967.35	0.956	0.657	0.503	0.389	0.281	0.169	0.107
99+000	967.35	1.380	0.919	0.709	0.554	0.430	0.289	0.206
99+500	927.06	0.796	0.770	0.579	0.436	0.325	0.209	0.144
100+000	1015.41	1.253	0.816	0.636	0.480	0.356	0.237	0.158
100+500	951.86	1.009	0.804	0.686	0.611	0.499	0.344	0.236
101+000	973.56	1.175	1.130	0.868	0.705	0.555	0.383	0.269
101+500	953.40	0.815	0.783	0.579	0.433	0.309	0.205	0.167
102+000	1046.40	1.020	0.795	0.641	0.537	0.421	0.277	0.182
102+500	984.41	1.450	0.791	0.630	0.501	0.389	0.253	0.165
103+000	995.26	1.055	0.670	0.585	0.468	0.388	0.288	0.207
103+500	987.35	1.042	0.692	0.510	0.404	0.295	0.173	0.105
104+000	989.05	1.410	1.321	1.074	0.786	0.559	0.348	0.191
104+500	990.61	1.113	1.110	0.880	0.685	0.521	0.321	0.212
105+000	1066.41	0.645	0.466	0.405	0.344	0.273	0.180	0.117
105+500	942.55	1.034	0.637	0.486	0.403	0.306	0.192	0.128
106+000	1027.65	1.314	0.952	0.820	0.711	0.595	0.434	0.314
106+500	953.40	0.945	0.683	0.567	0.488	0.403	0.288	0.208

107+000	1043.15	1.267	0.859	0.617	0.482	0.367	0.257	0.194
107+500	958.06	1.345	0.937	0.681	0.525	0.402	0.278	0.223
108+000	1037.11	1.378	1.012	0.797	0.602	0.423	0.230	0.159
108+500	992.15	1.290	0.909	0.700	0.529	0.399	0.264	0.191
109+000	1004.56	1.226	0.811	0.631	0.479	0.377	0.288	0.230
109+500	959.61	1.642	1.086	0.821	0.638	0.499	0.394	0.305
110+000	990.61	1.740	1.210	0.979	0.746	0.563	0.358	0.196
110+500	945.66	1.394	1.111	0.871	0.666	0.503	0.333	0.224
111+000	992.15	2.044	1.569	1.233	0.853	0.623	0.393	0.256
111+500	1066.41	1.561	0.942	0.713	0.521	0.380	0.275	0.225
112+000	944.11	1.158	0.766	0.535	0.328	0.184	0.089	0.047
112+500	854.36	1.014	0.574	0.333	0.139	0.026	0.015	0.004
113+000	931.70	1.086	0.712	0.477	0.324	0.189	0.096	0.053
113+500	981.31	0.833	0.715	0.493	0.365	0.183	0.121	0.075
114+000	923.96	0.944	0.712	0.480	0.399	0.248	0.146	0.104
114+500	1055.56	1.143	0.720	0.497	0.290	0.152	0.052	0.028
115+000	787.87	0.770	0.556	0.442	0.341	0.233	0.117	0.094
115+500	1126.85	0.978	0.745	0.615	0.488	0.338	0.168	0.102
116+000	1081.90	0.889	0.523	0.312	0.187	0.119	0.063	0.038
116+500	1018.35	0.849	0.578	0.374	0.238	0.117	0.040	0.013
117+000	1066.41	0.846	0.476	0.350	0.234	0.119	0.043	0.035
117+500	1102.05	0.916	0.627	0.576	0.358	0.244	0.136	0.072
118+000	1086.55	0.817	0.620	0.545	0.442	0.334	0.243	0.110
118+500	1066.41	1.074	0.864	0.764	0.645	0.514	0.341	0.223
119+000	1032.30	0.978	0.763	0.629	0.493	0.367	0.184	0.128
119+500	1092.75	1.071	0.781	0.600	0.359	0.218	0.105	0.059
120+000	1091.21	0.947	0.655	0.477	0.351	0.242	0.135	0.086
120+500	1026.26	0.733	0.458	0.322	0.212	0.136	0.144	0.054
121+000	982.86	0.739	0.511	0.443	0.329	0.249	0.163	0.119
121+500	1016.95	0.975	0.868	0.616	0.502	0.381	0.272	0.167
122+000	970.46	0.707	0.496	0.390	0.322	0.242	0.161	0.117
122+500	1064.85	1.124	0.695	0.392	0.316	0.277	0.195	0.112
123+000	989.05	0.520	0.350	0.281	0.221	0.167	0.110	0.070
123+200	967.35	0.575	0.391	0.321	0.242	0.172	0.099	0.063

Tabla 35. Deflexiones corregidas, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo, (PEPSA, 2023).

ESTACIÓN	Coeficiente Corrección por Temperatura	DEFLEXIONES CORREGIDAS A 700 MPa (mm)						
		D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150
1+000	0.667	0.84	0.59	0.43	0.35	0.26	0.19	0.16
1+500	0.700	0.82	0.54	0.40	0.29	0.21	0.15	0.09
2+000	0.701	1.20	1.10	0.86	0.61	0.42	0.24	0.18
3+000	0.701	2.38	1.98	1.56	1.17	0.81	0.51	0.35
4+000	0.667	1.06	0.48	0.31	0.18	0.11	0.05	0.03
5+000	0.623	1.01	0.72	0.54	0.39	0.23	0.13	0.10
6+000	0.712	0.72	0.69	0.50	0.34	0.22	0.14	0.11
7+000	0.767	2.04	1.93	1.29	1.04	0.66	0.37	0.24
8+000	0.734	2.32	2.23	1.47	1.28	0.80	0.38	0.15
9+000	0.823	1.28	0.76	0.53	0.32	0.17	0.06	0.04
10+000	0.756	1.78	1.34	1.05	0.78	0.56	0.31	0.21
11+000	0.778	1.12	0.86	0.70	0.54	0.40	0.26	0.19
12+000	0.878	1.03	0.87	0.68	0.50	0.35	0.19	0.12

13+000	0.745	1.86	0.63	0.46	0.30	0.16	0.06	0.03
13+500	0.812	1.66	1.60	1.11	0.80	0.35	0.27	0.17
14+000	0.689	0.50	0.44	0.40	0.40	0.33	0.20	0.10
14+500	0.689	1.09	1.03	0.85	0.58	0.34	0.20	0.11
15+000	0.767	0.79	0.73	0.69	0.68	0.63	0.54	0.43
15+500	0.823	1.79	1.40	1.13	0.89	0.63	0.39	0.25
16+000	0.689	1.73	1.36	1.10	0.89	0.69	0.48	0.34
16+500	0.667	0.90	0.62	0.47	0.34	0.23	0.13	0.11
17+000	0.845	0.88	0.58	0.42	0.28	0.20	0.12	0.10
17+500	0.667	0.95	0.63	0.48	0.35	0.24	0.13	0.06
18+000	0.734	0.83	0.49	0.34	0.21	0.11	0.06	0.04
18+500	1.100	1.16	0.97	0.74	0.55	0.38	0.21	0.15
19+000	0.667	1.03	0.74	0.54	0.30	0.15	0.08	0.07
19+500	0.734	1.84	1.79	1.42	1.12	0.73	0.55	0.34
20+000	0.656	1.16	1.13	0.85	0.60	0.48	0.38	0.25
20+500	0.678	1.03	0.95	0.66	0.48	0.33	0.22	0.15
21+000	0.623	1.51	1.19	0.86	0.65	0.44	0.23	0.16
21+500	0.989	1.31	1.08	0.82	0.63	0.40	0.23	0.17
22+000	0.689	1.64	0.96	0.70	0.50	0.36	0.19	0.09
22+500	0.723	0.62	0.28	0.19	0.13	0.08	0.06	0.04
23+000	0.734	0.97	0.56	0.38	0.28	0.20	0.13	0.09
23+500	0.712	0.73	0.29	0.19	0.13	0.08	0.06	0.04
24+000	0.745	1.29	0.86	0.62	0.42	0.23	0.10	0.10
24+500	0.623	1.27	1.23	0.86	0.60	0.37	0.17	0.06
25+000	0.756	1.56	1.00	0.65	0.43	0.25	0.16	0.13
25+500	0.734	0.65	0.36	0.27	0.19	0.14	0.11	0.04
26+000	0.712	1.24	0.78	0.49	0.28	0.12	0.09	0.03
26+500	0.767	1.41	0.97	0.63	0.45	0.29	0.15	0.08
27+000	0.900	1.88	1.44	1.09	0.79	0.50	0.28	0.16
27+500	0.745	1.11	0.74	0.51	0.38	0.25	0.19	0.13
28+000	0.812	0.61	0.40	0.27	0.17	0.10	0.03	0.01
28+500	0.734	0.69	0.40	0.32	0.24	0.14	0.08	0.05
29+000	1.133	0.75	0.35	0.26	0.17	0.12	0.07	0.05
29+500	0.723	1.32	0.70	0.47	0.31	0.21	0.16	0.11
30+000	0.867	1.47	1.26	0.90	0.60	0.39	0.23	0.16
30+500	0.701	1.63	0.70	0.46	0.29	0.20	0.15	0.11
31+000	0.712	0.77	0.52	0.38	0.28	0.19	0.11	0.08
31+500	1.145	0.73	0.68	0.53	0.36	0.23	0.12	0.09
32+000	0.712	0.81	0.46	0.32	0.20	0.13	0.08	0.06
32+500	1.133	0.62	0.28	0.19	0.12	0.08	0.05	0.04
33+000	0.756	0.65	0.46	0.33	0.22	0.14	0.07	0.05
33+500	0.745	0.87	0.30	0.21	0.14	0.09	0.05	0.03
34+000	0.800	1.08	0.58	0.38	0.21	0.09	0.04	0.04
34+500	0.689	1.54	0.74	0.56	0.39	0.26	0.16	0.12
35+000	0.778	1.26	0.84	0.54	0.34	0.18	0.04	0.02
35+500	0.723	1.34	0.84	0.64	0.43	0.29	0.18	0.14
36+000	0.778	1.96	1.78	1.24	0.84	0.53	0.33	0.27
36+500	0.778	0.67	0.63	0.47	0.31	0.19	0.12	0.08
37+000	0.778	0.73	0.71	0.50	0.31	0.17	0.06	0.04
37+500	0.967	0.81	0.42	0.29	0.17	0.08	0.03	0.02
38+000	0.756	0.75	0.46	0.30	0.21	0.13	0.06	0.05
38+500	0.467	0.79	0.44	0.30	0.20	0.13	0.06	0.03
39+000	0.856	0.78	0.50	0.36	0.26	0.16	0.08	0.03
39+500	0.967	1.03	0.89	0.73	0.51	0.38	0.20	0.13
40+000	0.623	1.06	0.59	0.40	0.26	0.17	0.07	0.04
40+500	0.745	1.07	0.48	0.30	0.19	0.09	0.03	0.01

41+000	0.800	0.83	0.60	0.48	0.38	0.30	0.20	0.15
41+500	0.756	0.70	0.46	0.33	0.22	0.13	0.06	0.03
42+000	0.845	1.06	0.42	0.31	0.21	0.14	0.08	0.06
42+500	0.712	0.84	0.55	0.35	0.28	0.18	0.12	0.08
43+000	0.400	0.75	0.50	0.34	0.24	0.16	0.08	0.04
43+500	0.756	1.10	1.03	0.72	0.61	0.41	0.29	0.11
44+000	0.734	1.06	0.73	0.51	0.33	0.21	0.14	0.07
44+500	0.378	0.70	0.53	0.40	0.30	0.19	0.13	0.06
45+000	0.923	1.05	0.71	0.52	0.38	0.27	0.18	0.15
45+500	0.712	1.09	0.74	0.48	0.28	0.17	0.08	0.06
46+000	0.495	0.74	0.53	0.42	0.29	0.21	0.12	0.08
46+500	0.514	0.90	0.60	0.42	0.29	0.19	0.10	0.08
47+000	1.011	0.77	0.49	0.37	0.27	0.19	0.12	0.09
47+500	0.800	0.61	0.58	0.43	0.31	0.20	0.12	0.09
48+000	0.956	0.97	0.54	0.35	0.24	0.17	0.12	0.09
48+500	0.734	1.04	0.85	0.69	0.50	0.35	0.21	0.17
49+000	0.945	0.81	0.49	0.33	0.21	0.12	0.05	0.03
49+500	0.734	1.04	0.77	0.57	0.42	0.30	0.20	0.15
50+000	0.878	0.86	0.62	0.46	0.35	0.22	0.13	0.08
50+500	0.758	0.96	0.61	0.46	0.34	0.24	0.15	0.11
51+000	0.889	0.92	0.61	0.46	0.34	0.23	0.14	0.08
51+500	0.645	0.61	0.36	0.26	0.18	0.13	0.08	0.05
52+000	0.878	0.89	0.65	0.48	0.37	0.27	0.18	0.12
52+500	0.678	0.48	0.28	0.18	0.10	0.06	0.05	0.04
53+000	0.527	0.84	0.82	0.65	0.48	0.35	0.21	0.14
53+500	0.656	0.72	0.52	0.35	0.22	0.14	0.08	0.06
54+000	0.812	0.79	0.66	0.47	0.32	0.22	0.12	0.07
54+500	0.701	0.92	0.65	0.49	0.35	0.24	0.16	0.12
55+000	0.800	0.87	0.59	0.43	0.30	0.22	0.10	0.05
55+500	0.350	0.69	0.48	0.35	0.26	0.17	0.09	0.04
56+000	0.878	0.96	0.63	0.48	0.33	0.21	0.10	0.05
56+500	0.778	0.82	0.59	0.41	0.30	0.21	0.12	0.08
57+000	0.477	0.87	0.83	0.56	0.36	0.23	0.09	0.06
57+500	0.812	0.75	0.56	0.41	0.30	0.21	0.13	0.08
58+000	0.878	0.84	0.49	0.34	0.25	0.14	0.09	0.06
58+500	0.734	1.05	0.71	0.52	0.38	0.24	0.12	0.07
59+000	0.800	1.11	0.74	0.61	0.46	0.34	0.23	0.17
59+500	1.045	1.04	0.65	0.45	0.29	0.18	0.09	0.06
60+000	0.834	1.04	0.81	0.68	0.52	0.38	0.23	0.16
60+500	0.578	0.89	0.39	0.22	0.11	0.06	0.02	0.01
61+000	0.911	0.81	0.58	0.46	0.34	0.25	0.16	0.13
61+500	0.712	1.09	0.78	0.58	0.43	0.30	0.20	0.15
62+000	0.889	0.84	0.50	0.40	0.34	0.27	0.20	0.15
62+500	0.734	0.73	0.56	0.43	0.34	0.24	0.15	0.11
63+000	0.823	1.30	0.91	0.72	0.56	0.41	0.30	0.23
63+500	0.734	0.85	0.64	0.52	0.40	0.32	0.24	0.19
64+000	0.878	1.44	1.15	0.88	0.69	0.54	0.37	0.30
64+500	0.723	1.08	0.81	0.66	0.52	0.37	0.26	0.20
65+000	0.878	0.81	0.64	0.50	0.40	0.28	0.20	0.15
65+500	0.701	0.68	0.50	0.39	0.32	0.22	0.15	0.11
66+000	0.856	0.92	0.65	0.54	0.44	0.35	0.25	0.19
66+500	0.701	0.68	0.47	0.38	0.30	0.23	0.17	0.15
67+000	0.878	0.84	0.61	0.50	0.41	0.33	0.25	0.20
67+500	0.678	1.16	0.89	0.65	0.49	0.40	0.24	0.16
68+000	0.878	1.29	1.12	0.89	0.66	0.46	0.25	0.16
68+500	0.656	0.72	0.48	0.38	0.30	0.23	0.15	0.10

69+000	0.856	1.27	0.62	0.43	0.33	0.23	0.16	0.12
69+500	0.689	0.64	0.41	0.28	0.21	0.12	0.04	0.02
70+000	0.845	1.13	0.81	0.69	0.55	0.44	0.34	0.25
70+500	0.678	0.91	0.57	0.46	0.37	0.30	0.20	0.14
71+000	0.845	0.63	0.34	0.21	0.15	0.08	0.05	0.03
71+500	0.612	0.71	0.45	0.29	0.23	0.15	0.09	0.06
72+000	0.845	1.16	0.86	0.68	0.51	0.36	0.21	0.13
72+500	0.701	0.92	0.68	0.55	0.46	0.36	0.20	0.10
73+000	0.856	0.82	0.56	0.40	0.27	0.14	0.04	0.01
73+500	0.701	0.93	0.70	0.53	0.39	0.28	0.16	0.10
74+000	0.900	0.69	0.46	0.27	0.19	0.10	0.04	0.02
74+500	0.689	0.78	0.47	0.31	0.21	0.12	0.06	0.04
75+000	0.945	1.24	0.87	0.66	0.48	0.31	0.14	0.08
75+500	0.756	0.82	0.54	0.43	0.31	0.21	0.12	0.08
76+000	0.900	1.23	0.94	0.72	0.51	0.33	0.14	0.07
76+500	0.767	0.88	0.64	0.48	0.34	0.21	0.08	0.02
77+000	0.867	1.17	0.80	0.60	0.47	0.35	0.19	0.12
77+500	0.734	1.13	0.81	0.63	0.49	0.35	0.21	0.12
78+000	0.889	0.94	0.75	0.61	0.48	0.36	0.24	0.17
78+500	0.800	1.09	1.03	0.82	0.66	0.51	0.35	0.25
79+000	0.889	1.31	1.24	0.95	0.66	0.42	0.18	0.09
79+500	0.723	1.09	0.80	0.63	0.48	0.34	0.20	0.11
80+000	0.867	0.74	0.46	0.36	0.28	0.20	0.12	0.08
80+500	0.723	1.10	0.74	0.61	0.46	0.35	0.23	0.15
81+000	0.878	0.88	0.57	0.43	0.34	0.24	0.13	0.08
81+500	0.712	0.82	0.55	0.41	0.31	0.21	0.11	0.06
82+000	0.867	1.24	0.90	0.71	0.58	0.46	0.32	0.21
82+500	0.712	0.72	0.53	0.42	0.33	0.25	0.17	0.14
83+000	0.889	0.75	0.46	0.32	0.21	0.13	0.07	0.04
83+500	0.689	0.59	0.27	0.18	0.11	0.07	0.04	0.03
84+000	0.967	0.74	0.39	0.32	0.26	0.18	0.10	0.07
84+500	0.734	1.06	0.79	0.57	0.41	0.26	0.14	0.08
85+000	0.923	1.10	0.83	0.67	0.50	0.38	0.25	0.17
85+500	0.745	1.01	0.69	0.48	0.34	0.23	0.11	0.04
86+000	0.956	1.13	0.98	0.60	0.42	0.31	0.18	0.09
86+500	0.689	1.01	0.89	0.56	0.45	0.36	0.25	0.18
87+000	0.934	0.78	0.54	0.41	0.31	0.22	0.14	0.08
87+500	0.712	1.30	0.69	0.47	0.34	0.24	0.15	0.10
88+000	0.923	0.88	0.60	0.46	0.34	0.24	0.13	0.09
88+500	0.701	0.88	0.57	0.43	0.31	0.21	0.12	0.07
89+000	0.923	0.73	0.37	0.26	0.17	0.10	0.05	0.03
89+500	0.712	1.18	0.78	0.54	0.38	0.25	0.14	0.10
90+000	0.945	1.11	1.07	0.92	0.75	0.58	0.40	0.30
90+500	0.723	0.86	0.59	0.43	0.32	0.23	0.15	0.12
91+000	0.934	0.77	0.54	0.39	0.26	0.17	0.09	0.06
91+500	0.701	0.77	0.54	0.40	0.28	0.19	0.11	0.08
92+000	0.923	0.74	0.54	0.49	0.39	0.31	0.20	0.13
92+500	0.712	0.63	0.52	0.46	0.40	0.33	0.21	0.13
93+000	0.911	0.91	0.67	0.53	0.42	0.31	0.20	0.12
93+500	0.712	0.93	0.84	0.70	0.56	0.42	0.27	0.19
94+000	0.945	0.85	0.85	0.79	0.65	0.50	0.30	0.14
94+500	0.756	1.20	0.94	0.78	0.62	0.47	0.27	0.16
95+000	0.967	0.97	0.73	0.59	0.46	0.34	0.22	0.15
95+500	0.789	1.08	0.77	0.56	0.37	0.24	0.12	0.08
96+000	0.989	1.12	0.76	0.59	0.45	0.34	0.23	0.14
96+500	0.745	1.33	0.85	0.61	0.42	0.28	0.13	0.06

97+000	0.967	1.41	1.00	0.82	0.59	0.44	0.27	0.17
97+500	0.701	1.05	0.65	0.51	0.40	0.29	0.19	0.14
98+000	0.956	0.93	0.58	0.45	0.35	0.27	0.18	0.12
98+500	0.745	0.88	0.61	0.46	0.36	0.26	0.16	0.10
99+000	0.967	1.38	0.92	0.71	0.55	0.43	0.29	0.21
99+500	0.745	0.74	0.71	0.53	0.40	0.30	0.19	0.13
100+000	0.978	1.25	0.82	0.64	0.48	0.36	0.24	0.16
100+500	0.767	0.93	0.74	0.63	0.56	0.46	0.32	0.22
101+000	0.945	1.17	1.13	0.87	0.70	0.55	0.38	0.27
101+500	0.745	0.75	0.72	0.54	0.40	0.29	0.19	0.15
102+000	0.923	1.02	0.80	0.64	0.54	0.42	0.28	0.18
102+500	0.723	1.34	0.73	0.58	0.46	0.36	0.23	0.15
103+000	0.911	1.05	0.67	0.58	0.47	0.39	0.29	0.21
103+500	0.734	0.96	0.64	0.47	0.37	0.27	0.16	0.10
104+000	0.923	1.41	1.32	1.07	0.79	0.56	0.35	0.19
104+500	0.734	1.03	1.03	0.81	0.63	0.48	0.30	0.20
105+000	0.923	0.64	0.47	0.40	0.34	0.27	0.18	0.12
105+500	0.745	0.96	0.59	0.45	0.37	0.28	0.18	0.12
106+000	0.923	1.31	0.95	0.82	0.71	0.59	0.43	0.31
106+500	0.767	0.87	0.63	0.52	0.45	0.37	0.27	0.19
107+000	0.923	1.27	0.86	0.62	0.48	0.37	0.26	0.19
107+500	0.767	1.24	0.87	0.63	0.49	0.37	0.26	0.21
108+000	0.934	1.38	1.01	0.80	0.60	0.42	0.23	0.16
108+500	0.745	1.19	0.84	0.65	0.49	0.37	0.24	0.18
109+000	0.945	1.23	0.81	0.63	0.48	0.38	0.29	0.23
109+500	0.789	1.52	1.00	0.76	0.59	0.46	0.36	0.28
110+000	0.967	1.74	1.21	0.98	0.75	0.56	0.36	0.20
110+500	0.823	1.29	1.03	0.80	0.62	0.47	0.31	0.21
111+000	0.989	2.04	1.57	1.23	0.85	0.62	0.39	0.26
111+500	0.789	1.44	0.87	0.66	0.48	0.35	0.25	0.21
112+000	1.022	1.16	0.77	0.53	0.33	0.18	0.09	0.05
112+500	0.712	0.94	0.53	0.31	0.13	0.02	0.01	0.00
113+000	1.022	1.09	0.71	0.48	0.32	0.19	0.10	0.05
113+500	0.712	0.77	0.66	0.46	0.34	0.17	0.11	0.07
114+000	1.034	0.94	0.71	0.48	0.40	0.25	0.15	0.10
114+500	0.667	1.06	0.67	0.46	0.27	0.14	0.05	0.03
115+000	0.967	0.77	0.56	0.44	0.34	0.23	0.12	0.09
115+500	0.778	0.90	0.69	0.57	0.45	0.31	0.16	0.09
116+000	0.989	0.89	0.52	0.31	0.19	0.12	0.06	0.04
116+500	0.823	0.78	0.53	0.35	0.22	0.11	0.04	0.01
117+000	1.022	0.85	0.48	0.35	0.23	0.12	0.04	0.04
117+500	0.834	0.85	0.58	0.53	0.33	0.23	0.13	0.07
118+000	1.000	0.82	0.62	0.55	0.44	0.33	0.24	0.11
118+500	0.834	0.99	0.80	0.71	0.60	0.48	0.32	0.21
119+000	0.989	0.98	0.76	0.63	0.49	0.37	0.18	0.13
119+500	0.845	0.99	0.72	0.55	0.33	0.20	0.10	0.05
120+000	1.034	0.95	0.66	0.48	0.35	0.24	0.13	0.09
120+500	0.867	0.68	0.42	0.30	0.20	0.13	0.13	0.05
121+000	1.056	0.74	0.51	0.44	0.33	0.25	0.16	0.12
121+500	0.911	0.90	0.80	0.57	0.46	0.35	0.25	0.15
122+000	1.056	0.71	0.50	0.39	0.32	0.24	0.16	0.12
122+500	0.945	1.04	0.64	0.36	0.29	0.26	0.18	0.10
123+000	0.989	0.52	0.35	0.28	0.22	0.17	0.11	0.07
123+200	1.011	0.58	0.39	0.32	0.24	0.17	0.10	0.06

4.4.4 Medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

La regularidad de una carretera se define como la suma de las irregularidades de la superficie por unidad de longitud, lo que es percibido por el usuario como el confort en marcha. Sin embargo, el aspecto más crucial de la regularidad superficial es su relación directa con los costos de operación vehicular, ya que influye en el consumo de combustible y los costos de mantenimiento del vehículo.

En este apartado se presentan los datos obtenidos de las mediciones del Índice de Regularidad Internacional (IRI) para cada uno de los tramos en estudio. Además, se describirán algunas características del modelo empleado y el equipo empleado para el cálculo del IRI.

Características del modelo empleado para el cálculo y obtención del IRI: Este modelo corresponde a un modelo matemático propuesto por el Banco Mundial, conocido como cuarto de carro, que simula la circulación de un solo sistema, rueda – suspensión el cual se representa en la ilustración 57.

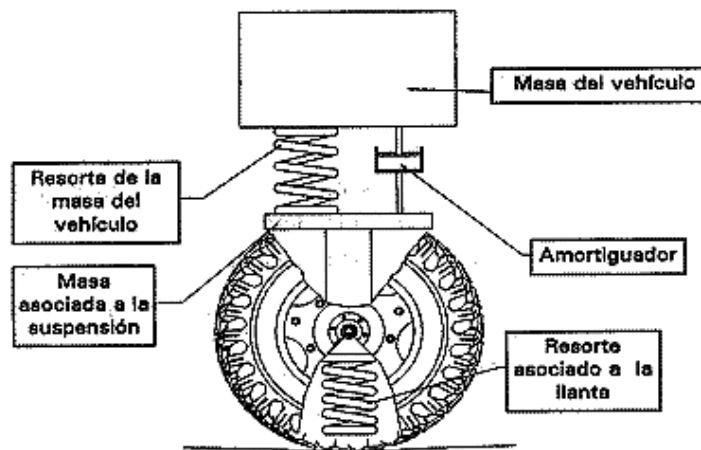


Ilustración 57. Modelo del “Cuarto de Carro” para obtener el Índice Internacional de Irregularidad (IRI) (IMT, 2019).

Teóricamente, el IRI puede oscilar entre cero (0), que representa una superficie perfectamente plana, y dieciséis (16) m/km o incluso más, lo cual indica pavimentos muy irregulares con deterioros y deformaciones significativas. En la ilustración 58

se presenta la escala del IRI descrita por el Banco Mundial, que corresponde a los diferentes valores del IRI y su interpretación.

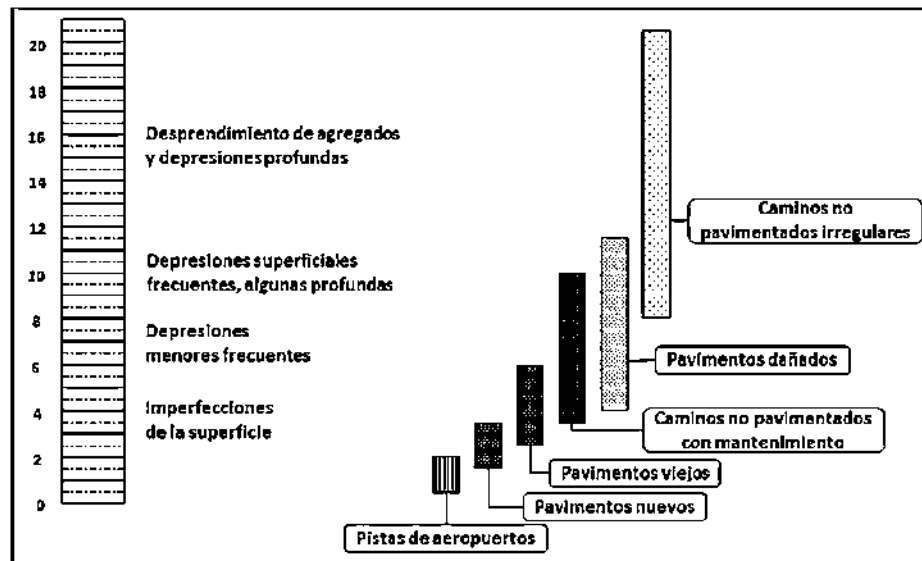


Ilustración 58. Escala de valores de IRI y las características de los pavimentos descrita por el Banco Mundial (IMT P.T. No. 756, 2023).

Para evaluar este parámetro de desempeño, se empleó un perfilómetro inercial o láser (Ilustración 59). Este método de prueba mide la distancia entre un plano inercial de referencia, establecido por acelerómetros, y la superficie del pavimento. Gracias a la precisión de los sistemas utilizados y la minimización del sesgo de error, el equipo cumple con todas las especificaciones para ser clasificado como de Clase 1 según la norma (ASTM E950-98).



Ilustración 59. Perfilómetro inercial (SOINVITSA, 2023).

A continuación, se presentan los resultados de las mediciones realizadas. Aunque las lecturas se tomaron cada 20 metros, para fines prácticos se muestra un promedio de los resultados medidos en intervalos de 1000 metros, es decir, por cada kilómetro.

- **Mediciones IRI - Grupo 5A**

1. Circuito Periférico de Morelia

Tabla 36. Mediciones IRI, Circuito Periférico de Morelia (PEPSA, 2023).

Cadenamiento		IRI (m/km)
Inicial	Final	Promedio
0+000	1+000	3.67
1+000	2+000	4.13
2+000	3+000	6.36
3+000	4+000	1.91
4+000	5+000	4.44
5+000	6+000	12.30
6+000	7+000	8.57
7+000	8+000	5.07
8+000	9+000	4.38
9+000	10+000	3.23
10+000	11+000	4.36
11+000	12+000	1.90
12+000	13+000	2.45
13+000	14+000	4.62
14+000	15+000	5.66
15+000	16+000	8.53
16+000	17+000	8.07
17+000	18+000	4.28
18+000	19+000	6.46
19+000	20+000	3.77
20+000	21+000	4.88
21+000	22+000	4.39
22+000	23+000	4.03
23+000	24+000	3.60
24+000	25+000	3.10
25+000	25+660	4.57

2. Ramal Camelinas

Tabla 37. Mediciones IRI, Ramal Camelinas (PEPSA, 2023).

Cadenamiento		IRI (m/km)
Inicial	Final	Promedio
100+000	101+000	3.02
101+000	102+000	3.46
102+000	103+000	3.98
103+000	104+000	2.90
104+000	104+580	2.50

3. Zacapu - Villachuato

Tabla 38. Mediciones IRI, Zacapu-Villachuato (PEPSA, 2023).

Cadenamiento		IRI (m/km)
Inicial	Final	Promedio
0+000	1+000	7.22
1+000	2+000	5.92
2+000	3+000	4.05
3+000	4+000	6.05
4+000	5+000	2.89
5+000	6+000	2.32
6+000	7+000	2.50
7+000	8+000	2.00
8+000	9+000	5.77
9+000	10+000	5.65
10+000	11+000	6.15
11+000	12+000	3.13
12+000	13+000	1.98
13+000	14+000	1.76
14+000	15+000	1.73
15+000	16+000	1.86
16+000	17+000	2.09
17+000	18+000	2.35
18+000	19+000	2.05
19+000	20+000	2.40
20+000	21+000	4.72
21+000	22+000	4.85
22+000	23+000	5.42
23+000	24+000	4.91

24+000	25+000	5.25
25+000	26+000	4.30
26+000	27+000	4.81
27+000	28+000	5.72
28+000	29+000	4.42
29+000	30+000	5.50
30+000	31+000	6.61
31+000	32+000	8.21
32+000	33+000	7.57
33+000	34+000	9.02
34+000	35+000	7.58
35+000	36+000	6.58
36+000	37+000	7.99
37+000	38+000	7.65
38+000	39+000	6.44
39+000	40+000	7.33
40+000	41+000	7.62
41+000	42+000	6.45
42+000	43+000	7.85
43+000	44+000	9.39

4. Puruándiro - Pastor Ortiz

Tabla 39. Mediciones IRI, Puruándiro - Pastor Ortiz (PEPSA, 2023).

Cadenamiento		IRI (m/km)
Inicial	Final	Promedio
0+000	1+000	5.77
1+000	2+000	5.67
2+000	3+000	5.81
3+000	4+000	7.07
4+000	5+000	5.12
5+000	6+000	3.56
6+000	7+000	4.68
7+000	8+000	4.00
8+000	9+000	6.31
9+000	10+000	4.99
10+000	11+000	4.10
11+000	12+000	7.32
12+000	13+000	4.73
13+000	14+000	4.00

14+000	15+000	5.34
15+000	16+000	4.66
16+000	17+000	2.69
17+000	18+000	2.70
18+000	19+000	3.79
19+000	20+000	2.34
20+000	21+000	2.87
21+000	22+000	3.18
22+000	23+000	5.27
23+000	24+000	3.01
24+000	25+000	3.57
25+000	26+000	3.50
26+000	27+000	4.46
27+000	28+000	3.81
28+000	29+000	5.16
29+000	30+000	4.50
30+000	31+000	4.66
31+000	32+000	4.35
32+000	33+000	6.39
33+000	34+000	6.70
34+000	35+000	4.11
35+000	36+000	5.01
36+000	37+000	2.82
37+000	38+000	4.15
38+000	39+000	4.33
39+000	40+000	6.77

5. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes

Tabla 40. Mediciones IRI, Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes (PEPSA, 2023).

Cadenamiento		IRI (m/km)
Inicial	Final	Promedio
0+000	1+000	8.57
1+000	2+000	5.29
2+000	3+000	7.53
3+000	4+000	6.42
4+000	5+000	7.93
5+000	6+000	5.38
6+000	7+000	11.24
7+000	8+000	7.36

8+000	9+000	3.02
9+000	10+000	3.61
10+000	11+000	4.09
11+000	12+000	5.49
12+000	13+000	6.79
13+000	14+000	5.77
14+000	15+000	5.73
15+000	16+000	3.56
16+000	17+000	4.91
17+000	18+000	4.98
18+000	19+000	4.38
19+000	20+000	4.84
20+000	21+000	4.94
21+000	22+000	5.99
22+000	23+000	9.24
23+000	24+000	7.91
24+000	25+000	7.37
25+000	26+000	9.48

- **Mediciones IRI - Grupo 5B**

6. E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta

Tabla 41 Mediciones IRI, E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta (PEPSA, 2023).

Cadenamiento		IRI (m/km)
Inicial	Final	Promedio
0+000	1+000	6.37
1+000	2+000	8.09
2+000	3+000	5.56
3+000	4+000	5.44
4+000	5+000	9.31
5+000	6+000	5.94
6+000	7+000	6.32
7+000	8+000	6.46
8+000	9+000	5.04
9+000	10+000	10.07
10+000	11+000	13.21
11+000	12+000	8.92
12+000	13+000	4.96

7. Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo

Tabla 42. Mediciones IRI, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo (PEPSA, 2023).

Cadenamiento		IRI (m/km)
Inicial	Final	Promedio
1+000	2+000	5.39
2+000	3+000	6.91
3+000	4+000	4.74
4+000	5+000	3.72
5+000	6+000	4.89
6+000	7+000	6.86
7+000	8+000	10.39
8+000	9+000	6.73
9+000	10+000	8.39
10+000	11+000	6.01
11+000	12+000	4.76
12+000	13+000	4.34
13+000	14+000	5.70
14+000	15+000	5.64
15+000	16+000	7.04
16+000	17+000	7.95
17+000	18+000	4.13
18+000	19+000	5.53
19+000	20+000	6.89
20+000	21+000	6.35
21+000	22+000	5.96
22+000	23+000	5.78
23+000	24+000	5.80
24+000	25+000	4.36
25+000	26+000	3.81
26+000	27+000	4.90
27+000	28+000	5.74
28+000	29+000	6.21
29+000	30+000	2.95
30+000	31+000	2.88
31+000	32+000	4.43
32+000	33+000	8.48
33+000	34+000	8.81
34+000	35+000	7.13
35+000	36+000	6.67
36+000	37+000	5.51
37+000	38+000	2.66
38+000	39+000	2.94
39+000	40+000	2.77
40+000	41+000	3.00
41+000	42+000	3.12
42+000	43+000	2.92
43+000	44+000	4.19

44+000	45+000	4.73
45+000	46+000	4.24
46+000	47+000	2.88
47+000	48+000	3.17
48+000	49+000	3.13
49+000	50+000	2.80
50+000	51+000	2.55
51+000	52+000	2.86
52+000	53+000	2.18
53+000	54+000	5.12
54+000	55+000	5.49
55+000	56+000	2.97
56+000	57+000	2.74
57+000	58+000	2.92
58+000	59+000	2.21
59+000	60+000	2.45
60+000	61+000	2.42
61+000	62+000	2.74
62+000	63+000	2.21
63+000	64+000	2.07
64+000	65+000	1.84
65+000	66+000	2.05
66+000	67+000	2.02
67+000	68+000	2.79
68+000	69+000	2.76
69+000	70+000	2.83
70+000	71+000	2.58
71+000	72+000	2.33
72+000	73+000	2.69
73+000	74+000	2.41
74+000	75+000	2.78
75+000	76+000	2.77
76+000	77+000	2.56
77+000	78+000	2.37
78+000	79+000	2.73
79+000	80+000	3.64
80+000	81+000	4.71
81+000	82+000	4.96
82+000	83+000	10.75
83+000	84+000	7.37
84+000	85+000	3.46
85+000	86+000	4.64
86+000	87+000	4.98
87+000	88+000	3.28
88+000	89+000	4.88
89+000	90+000	3.48
90+000	91+000	5.64
91+000	92+000	4.29
92+000	93+000	3.92

4.4.5 Propuestas de conservación del HDM-4

Dentro del proceso de recopilación de datos, se recibieron las propuestas de las acciones de conservación a ejecutar en la puesta a punto, generadas utilizando el sistema de gestión de activos HDM-4. Estas propuestas, elaboradas por especialistas en el uso del HDM-4, incluyeron una serie de alternativas basadas en análisis técnicos y criterios de optimización de recursos.

El modelo HDM-4 permite una evaluación detallada de la condición de los pavimentos, integrando datos de mediciones in situ con criterios de desempeño específicos. A través de su metodología (Ilustración 60), se pueden identificar y clasificar diferentes tipos de deterioro, así como proponer intervenciones óptimas para la rehabilitación y conservación de las carreteras.

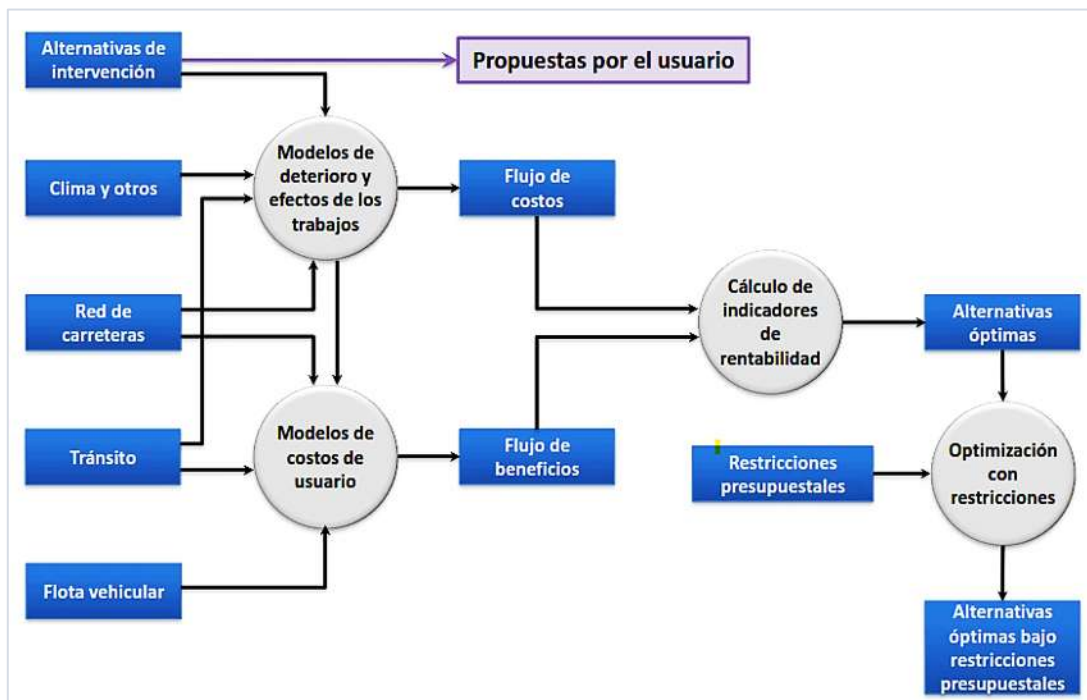


Ilustración 60. Metodología de Análisis de HDM-4 (R. Solorio, 2012).

Es importante destacar que, aunque el HDM-4 proporciona una metodología específica para la generación de estas alternativas, esta investigación se limitó a la recepción y análisis de la información entregada. No se participó directamente en la

aplicación del sistema ni en la configuración de los parámetros utilizados para la generación de los escenarios de rehabilitación y conservación. Sin embargo, las propuestas recibidas fueron fundamentales para la evaluación y comparación de los diferentes escenarios de intervención.

A continuación, se presentan las evaluaciones y propuestas de conservación realizadas para los tramos en estudio. Estas propuestas incluyen diversas alternativas de intervención, cada una evaluada en términos de su impacto en el Índice de Regularidad Internacional (IRI) y su viabilidad económica.

La selección de la alternativa más eficiente se realizó basándose en las Tasas Internas de Rentabilidad (TIR). Este criterio fue elegido porque la TIR permite comparar directamente el rendimiento financiero de cada alternativa, reflejando el retorno esperado sobre la inversión inicial. Al evaluar las distintas propuestas de conservación, se determinó que la alternativa con la TIR más alta ofrecía el mejor equilibrio entre costos y beneficios, ofreciendo un mayor retorno sobre la inversión, maximizando el valor económico a largo plazo. Así, se priorizó la opción que no solo presentaba una rentabilidad superior, sino que también cumplía con los requisitos técnicos y de sostenibilidad esperados para el proyecto.

- **Evaluación de pavimentos - Grupo 5A**

Con base en el estudio de tránsito, el estudio geotécnico y los parámetros obtenidos en la auscultación de los pavimentos, se propusieron las siguientes alternativas de solución para cada tramo en estudio, descritas a continuación:

1. Circuito Periférico de Morelia

- Este tramo se dividió en 18 segmentos, cada uno con características homogéneas, para llevar a cabo un análisis más preciso.
- De acuerdo con los parámetros de desempeño y las condiciones estructurales del pavimento, se consideró necesario intervenir, en una primera etapa de reconstrucción, solo 4 subtramos.
- En la tabla 43 se presentan las alternativas de solución para estos subtramos.

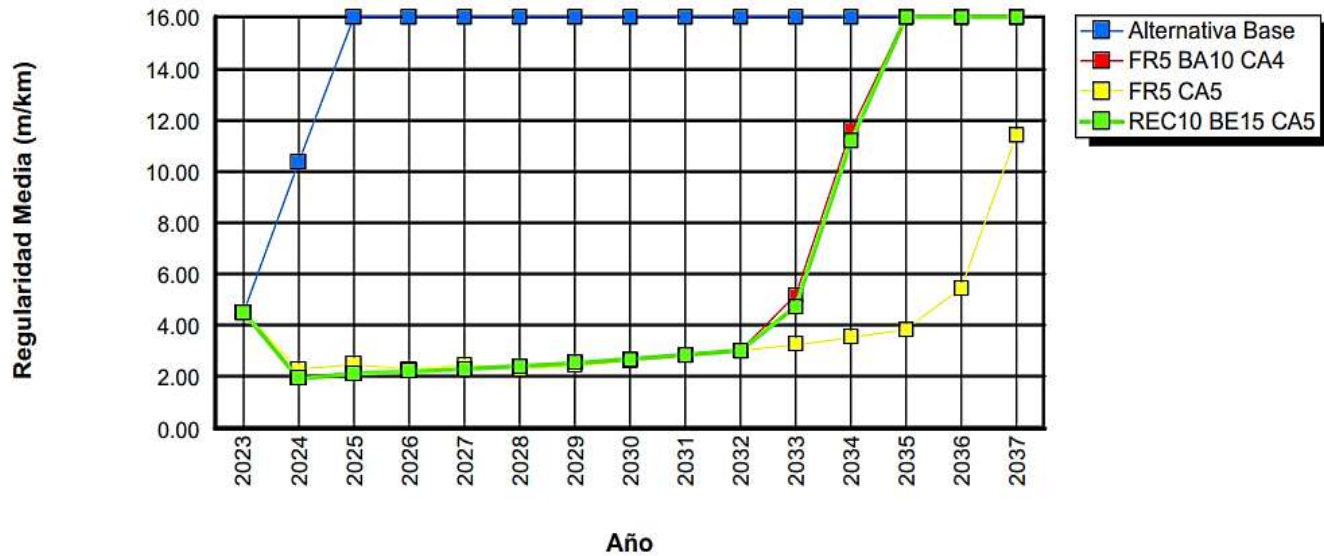
- Los subtramos a intervenir serán el 1, DV Charo, 5 y 15.

Tabla 43. Circuito Periférico de Morelia, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).

Segmento	Subtramos		Longitud (m)	Alternativas de Solución		
	Del km	Al km		1	2	3
1	0+000	0+330	330	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 15cm y Carpeta de 5cm	Fresado 5cm, Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
2	0+330	0+890	560	El tratamiento será en la etapa de conservación		
3	0+890	2+420	1530	Solo se terminará la segunda capa en el subtramo del km 2+000 al 2+420		
DV Charo	2+420	3+160	740	Capa de Rodadura SMA de 5cm	Carpeta asfáltica convencional de 5cm	Carpeta asfáltica de alto desempeño de 5cm
4	3+160	4+600	1440	El tratamiento será en la etapa de conservación		
DV Mil Cumbres	4+600	5+670	1070	Obra en proceso, no requiere tratamiento de rehabilitación		
5	5+670	7+190	1520	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Fresado 5cm, Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
6	7+190	9+370	2180	El tratamiento será en la etapa de conservación		
7	9+370	10+920	1550	Solo se terminará la segunda capa en el subtramo del km 10+500 al 10+920		
8	10+920	13+210	2290	El tratamiento será en la etapa de conservación		
9	13+210	13+750	540	El tratamiento será en la etapa de conservación		
10	13+750	16+250	2500	El tratamiento será en la etapa de conservación		
11	16+250	16+400	150	El tratamiento será en la etapa de conservación		
12	16+400	17+850	1450	El tratamiento será en la etapa de conservación		
DV Quiroga	17+850	19+330	1480	El tratamiento será en la etapa de conservación		
13	19+330	20+090	760	El tratamiento será en la etapa de conservación		
14	20+090	20+430	340	El tratamiento será en la etapa de conservación		
15	20+430	25+999	5569	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Fresado 5cm, Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm

En las 44 a 47, se presenta los resultados de la evaluación de estos 4 subtramos en el software HDM-4 y la mejor alternativa seleccionada para llevar a punto en la etapa de rehabilitación.

Tabla 44. Análisis HDM-4 para el tramo 1 del km 0+000 al km 0+330.



1. Evolución del IRI para el tramo 1 del km 0+000 al km 0+330.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 1 es la más rentable con una **TIR del 373.6%** y un **Valor Actual Neto de 107.617 millones** de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2029 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

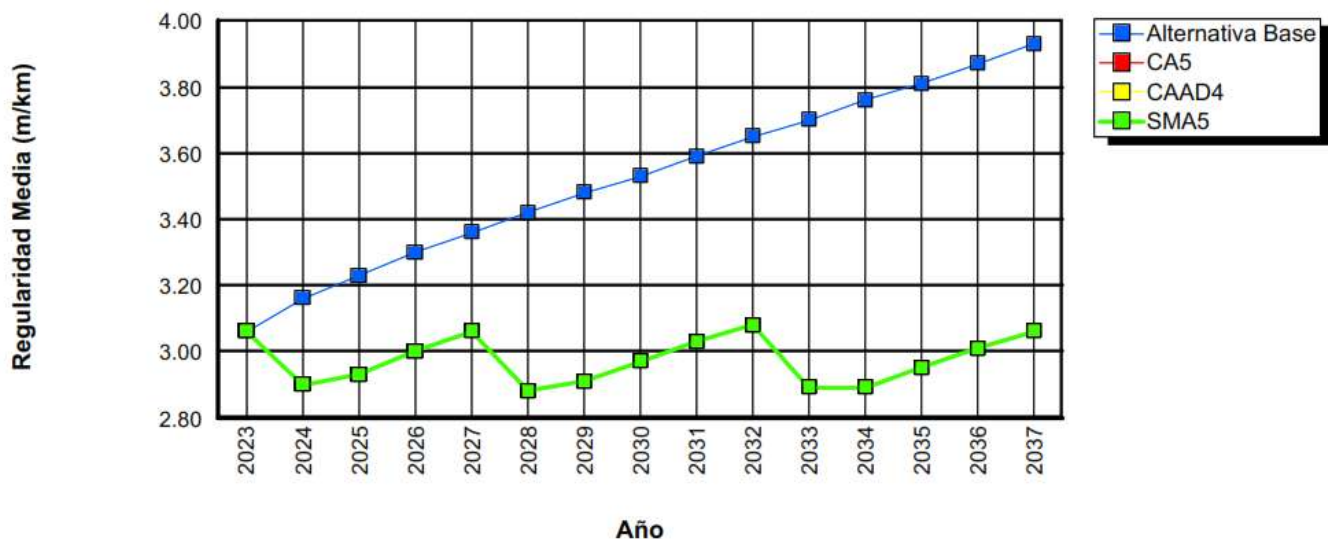
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 01 Del Km 0+000 al Km 0+330

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA5	5.850	5.850	5.773	113.390	0.000	107.617	18.396	18.396	373.6 (1)
REC10 BE15 CA5	2.980	2.980	2.903	95.111	0.000	92.208	30.943	30.943	314.4 (2)
FR5 BA10 CA4	3.143	3.143	3.066	94.570	0.000	91.505	29.116	29.116	300.2 (2)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 45. Análisis HDM-4 para el tramo DV Charo del km 2+420 al km 3+160.



1. Evolución del IRI para el tramo DV Charo del km 2+420 al km 3+160.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 1 es la más rentable con una TIR del 11.6% y un VAN de 0.403 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2028 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

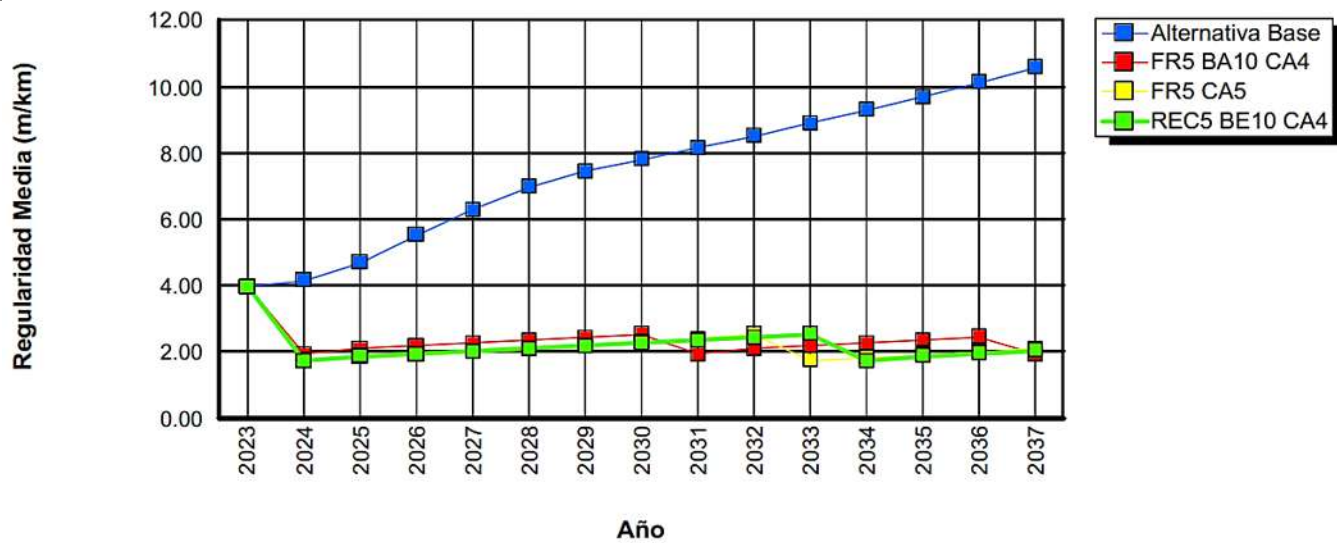
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: Del Km 2+420 al Km 3+160

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.884	0.884	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SMA5	6.257	6.257	5.373	5.776	0.000	0.403	0.064	0.064	11.6 (1)
CA5	6.531	6.531	5.647	5.776	0.000	0.129	0.020	0.020	10.5 (1)
CAAD4	6.400	6.400	5.516	5.776	0.000	0.260	0.041	0.041	11.0 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 46. Análisis HDM-4 para el tramo 5 del km 5+670 al km 7+190.



1. Evolución del IRI para el tramo 5 del km 5+670 al km 7+190.

3. Observaciones.

Para el subtramo 5, la alternativa 1 es la más rentable con una TIR del 13.8% y un VAN de 0.805 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2031 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

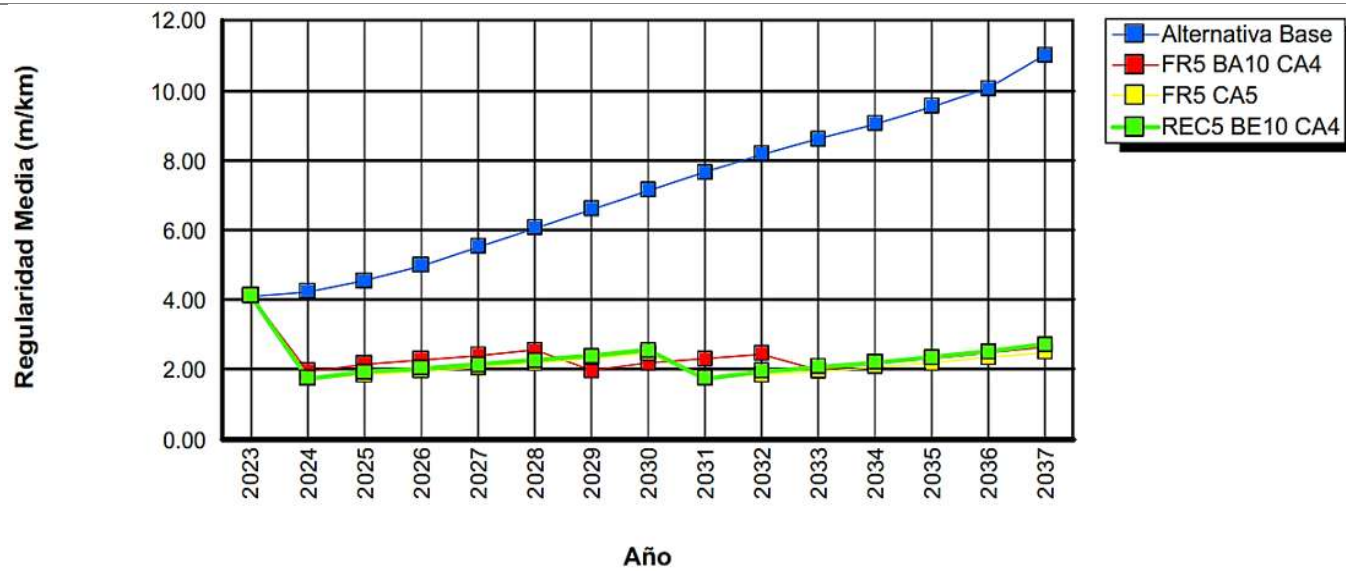
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 05 Del Km 5+670 al Km 7+190

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costes de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	1.908	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA5	7.306	7.306	5.398	117.578	0.000	112.180	15.355	15.355	98.0 (1)
REC5 BE10 CA4	7.714	7.714	5.806	117.514	0.000	111.708	14.480	14.480	92.7 (1)
FR5 BA10 CA4	22.369	22.369	20.461	117.170	0.000	96.709	4.323	4.323	53.5 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 47. Análisis HDM-4 para el tramo 15 del km 20+430 al km 25+999.



1. Evolución del IRI para el tramo 15 del km 20+430 al km 25+999.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 1 es la más rentable con una TIR del 164.2% y un Valor Actual Neto de 744.758 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2031 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 15 Del Km 20+430 al Km 25+999

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	7.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA5	33.180	33.180	26.173	770.931	0.000	744.758	22.446	22.446	164.2 (1)
REC5 BE10 CA4	36.012	36.012	29.004	769.275	0.000	740.271	20.556	20.556	152.0 (1)
FR5 BA10 CA4	108.460	108.460	101.453	767.412	0.000	665.959	6.140	6.140	75.0 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

2. Ramal Camelinas

Con base en el estudio de tránsito, el estudio geotécnico y la auscultación del pavimento, se determinó que el tramo carretero no requiere una actuación en la etapa de rehabilitación. Solo se programó una capa de rodadura con un riego de sello durante la etapa de conservación.

3. Zacapu - Villachuato

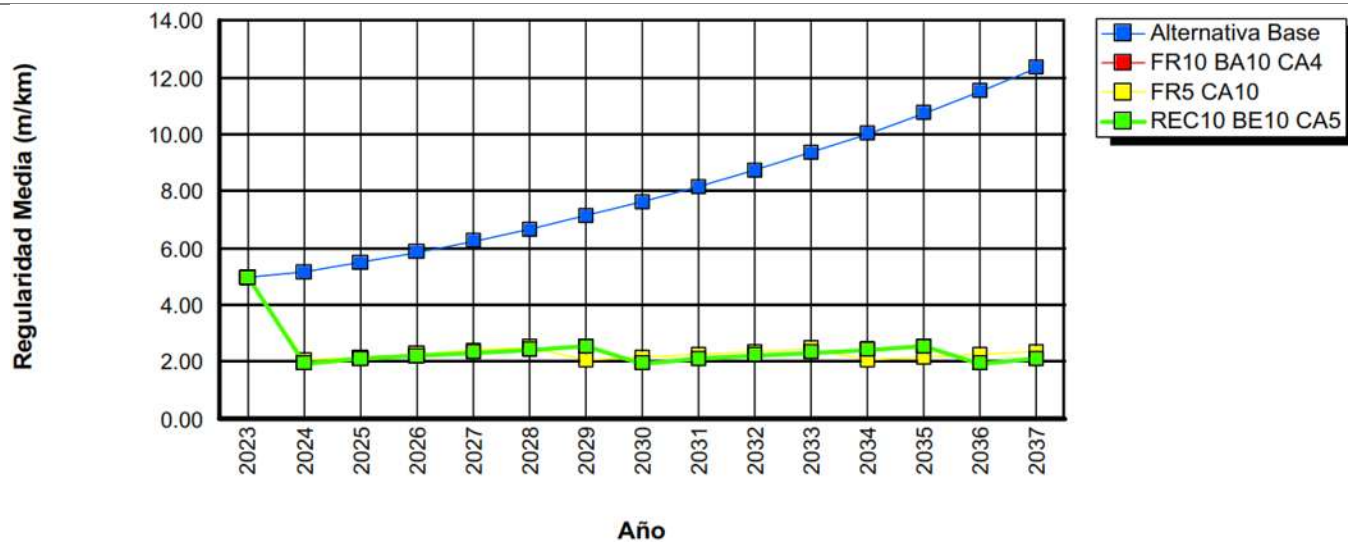
Este tramo se dividió en 9 segmentos, cada uno con características homogéneas, para llevar a cabo un análisis más preciso. Dos de estos subtramos fueron excluidos del análisis debido a las condiciones descritas en la tabla 48, por lo que solo se intervinieron 7 segmentos. En la tabla 48 se presentan las alternativas de solución para estos subtramos. Los subtramos a intervenir serán del 2 al 5 y del 7 al 9.

Tabla 48. Zacapu-Villachuato, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).

N°	Subtramos	Longitud (m)	Alternativas de Solución		
			1	2	3
1	0+000 - 1+800	1,800	Zona Urbana, SIN tratamiento		
2	1+800 - 3+900	2,100	Fresado 5cm y Carpeta de 10cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 5cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
3	3+900 - 8+400	4,500	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 5cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
4	8+400 - 9+400	1,000	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 5cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
5	9+400 - 11+200	1,800	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 5cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
6	11+200 - 19+700	8,500	TRAMO A CARGO DE RCO		
7	19+700 - 21+400	1,700	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 5cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
8	21+400 - 30+400	9,000	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 5cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
9	30+400 - 43+200	12,800	Fresado 5cm y Carpeta de 7cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 5cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm

En las 49 a 55, se presenta los resultados de la evaluación de estos 7 subtramos en el software HDM-4 y la mejor alternativa seleccionada para llevar a punto en la etapa de rehabilitación.

Tabla 49. Análisis HDM-4 para el tramo 2 del km 1+800 al km 3+900.



1. Evolución del IRI para el tramo 2 del km 1+800 al km 3+900.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 2 es la más rentable con una TIR del 15.4% y un VAN de 4.472 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2029 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

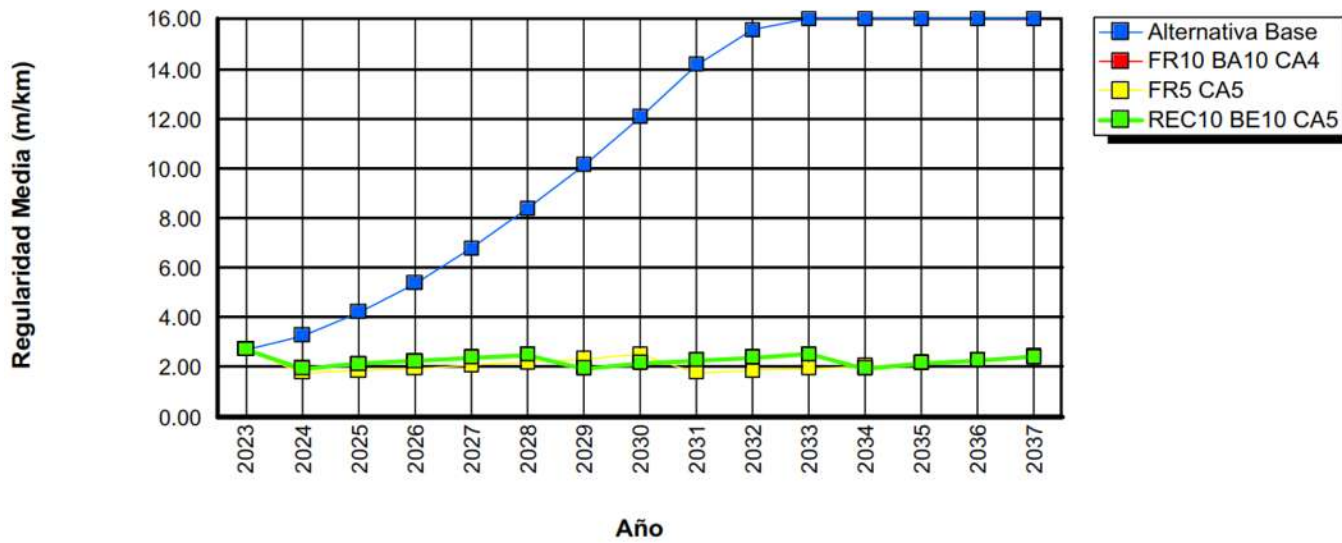
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 002 Del Km 1+800 al Km 3+900

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	2.591	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA10	21.089	21.089	18.498	21.525	0.000	3.027	0.144	0.144	13.3 (1)
REC10 BE10 CA5	19.654	19.654	17.063	21.535	0.000	4.472	0.228	0.228	15.4 (1)
FR10 BA10 CA4	21.110	21.110	18.519	21.535	0.000	3.016	0.143	0.143	13.5 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 50. Análisis HDM-4 para el tramo 3 del km 3+900 al 8+400.



1. Evolución del IRI para el tramo 3 del km 3+900 al 8+400.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 1 es la más rentable con una TIR del 43.5% y un VAN de 86.524 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2031 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

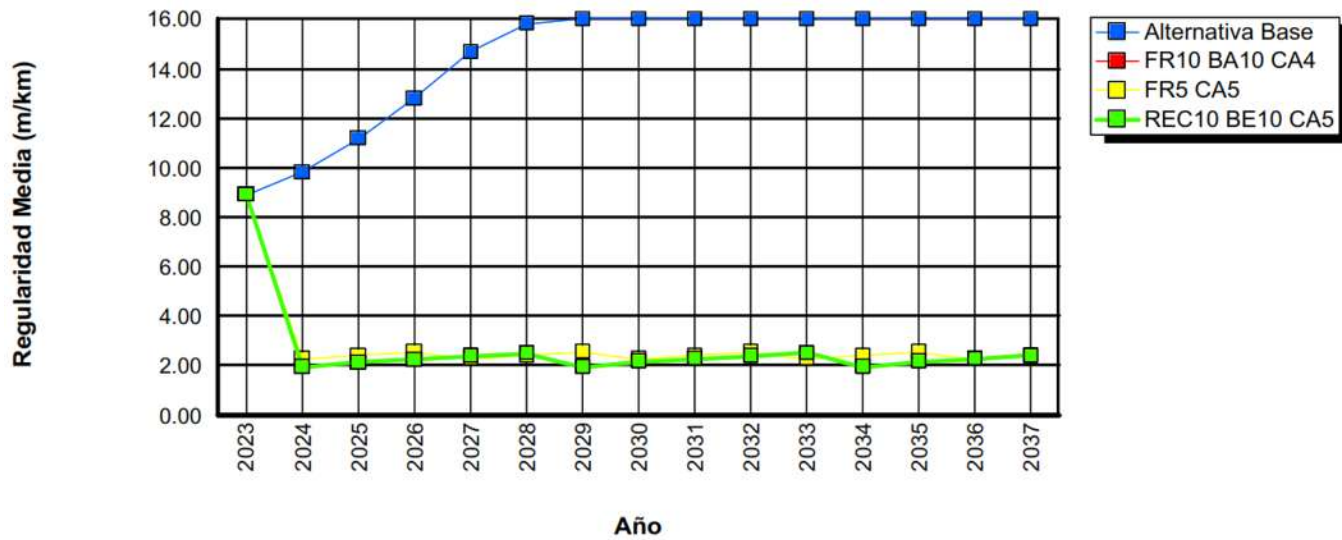
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 003 Del Km 3+900 al Km 8+400

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.731	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA5	15.321	15.321	14.590	101.113	0.000	86.524	5.648	5.648	45.3 (1)
REC10 BE10 CA5	38.464	38.464	37.733	100.965	0.000	63.232	1.644	1.644	28.6 (1)
FR10 BA10 CA4	41.314	41.314	40.582	100.965	0.000	60.382	1.462	1.462	27.2 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 51. Análisis HDM-4 para el tramo 4 del km 8+400 al 9+400.



1. Evolución del IRI para el tramo 4 del km 8+400 al 9+400.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 2 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 103.2% y un Valor Actual Neto de 31.353 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2029 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

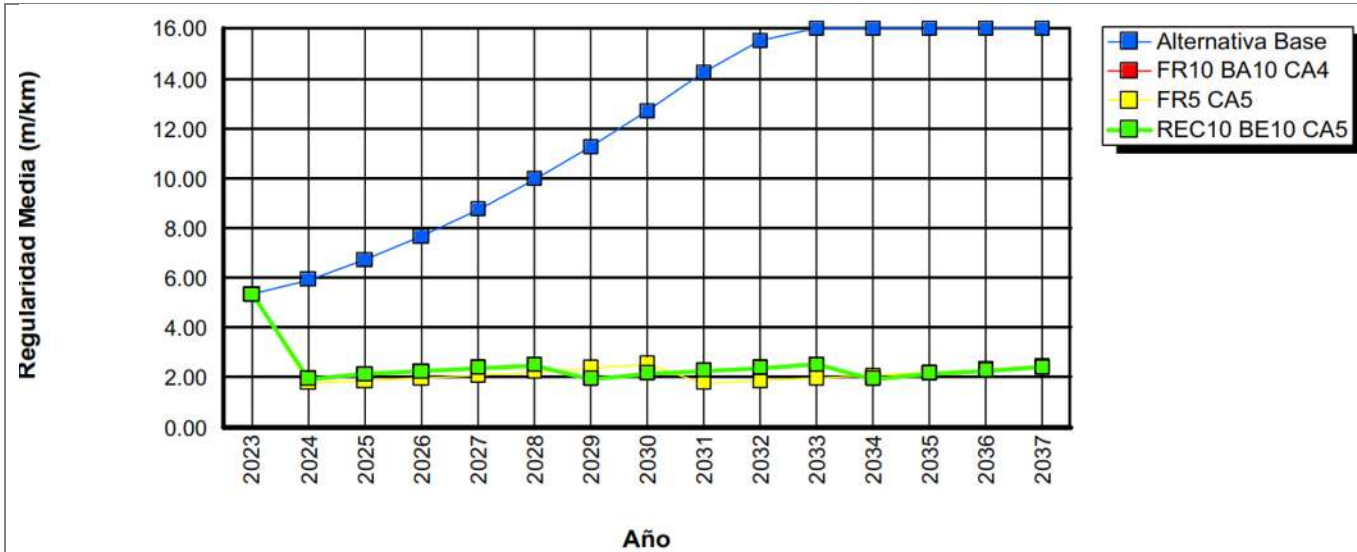
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 004 Del Km 8+400 al Km 9+400

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costes de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA5	7.202	7.202	7.032	36.130	0.000	29.098	4.040	4.040	98.8 (1)
REC10 BE10 CA5	4.986	4.986	4.816	36.169	0.000	31.353	6.288	6.288	103.2 (1)
FR10 BA10 CA4	5.355	5.355	5.185	36.169	0.000	30.984	5.785	5.785	97.2 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 52. Análisis HDM-4 para el tramo 5 del km 9+400 al km 11+200.



1. Evolución del IRI para el tramo 5 del km 9+400 al km 11+200.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 1 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 60.5% y un Valor Actual Neto de 38.888 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2031 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

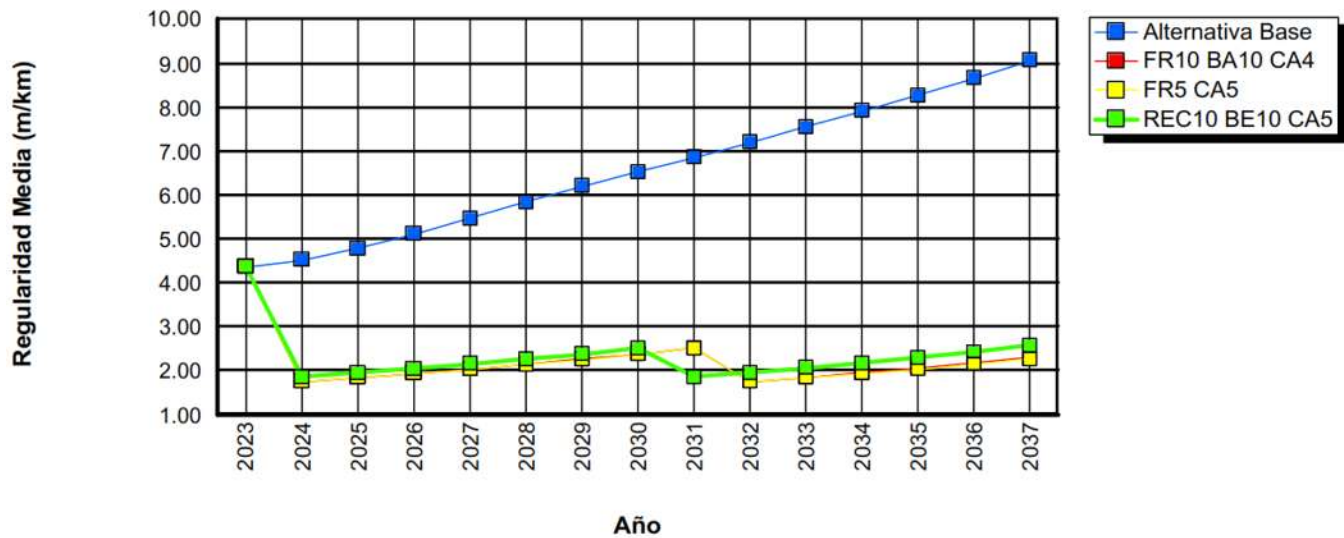
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 005 Del Km 9+400 al Km 11+200

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.272	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA5	7.195	7.195	6.923	45.810	0.000	38.888	5.405	5.405	60.5 (1)
REC10 BE10 CA5	15.386	15.386	15.113	45.758	0.000	30.644	1.992	1.992	35.9 (1)
FR10 BA10 CA4	16.525	16.525	16.253	45.758	0.000	29.505	1.785	1.785	33.9 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 53. Análisis HDM-4 para el tramo 7 del km 19+700 al km 21+400.



1. Evolución del IRI para el tramo 7 del km 19+700 al km 21+400.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 1 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 15.1% y un Valor Actual Neto de 1.641 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2032 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

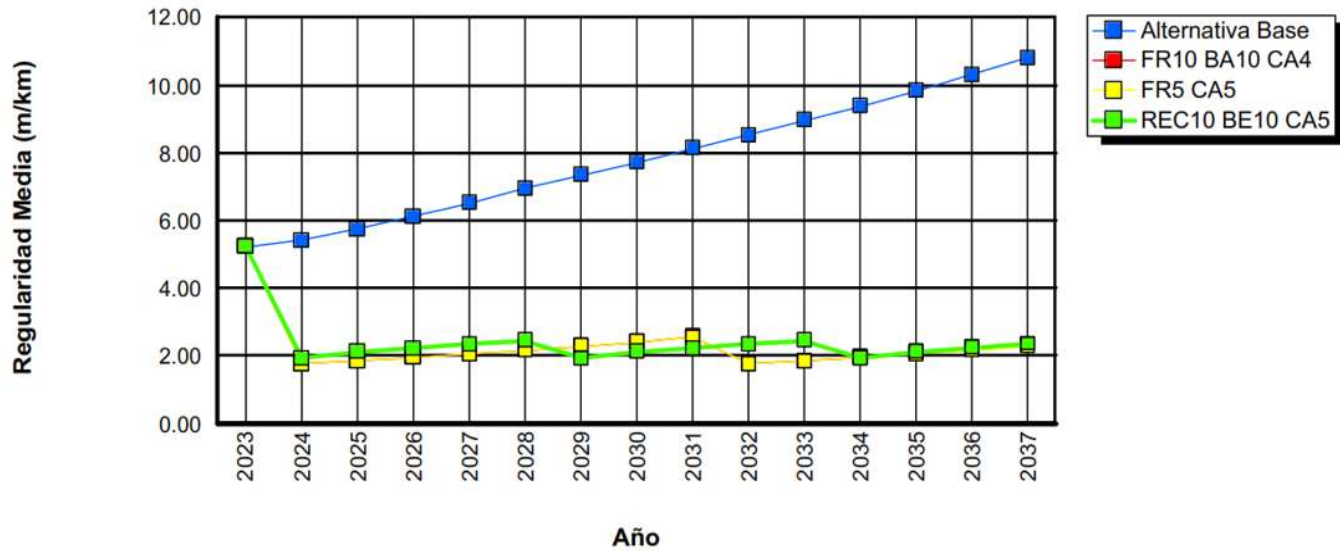
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 007 Del Km 19+700 al Km 21+400

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costes de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	1.567	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA5	6.544	6.544	4.978	6.619	0.000	1.641	0.251	0.251	15.1 (1)
REC10 BE10 CA5	7.822	7.822	6.255	6.600	0.000	0.345	0.044	0.044	11.3 (2)
FR10 BA10 CA4	7.727	7.727	6.161	6.617	0.000	0.457	0.059	0.059	11.3 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 54. Análisis HDM-4 para el tramo 8 del km 21+400 al km 30+400.



1. Evolución del IRI para el tramo 8 del km 21+400 al km 30+400.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 1 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 41.6% y un Valor Actual Neto de 36.639 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2032 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

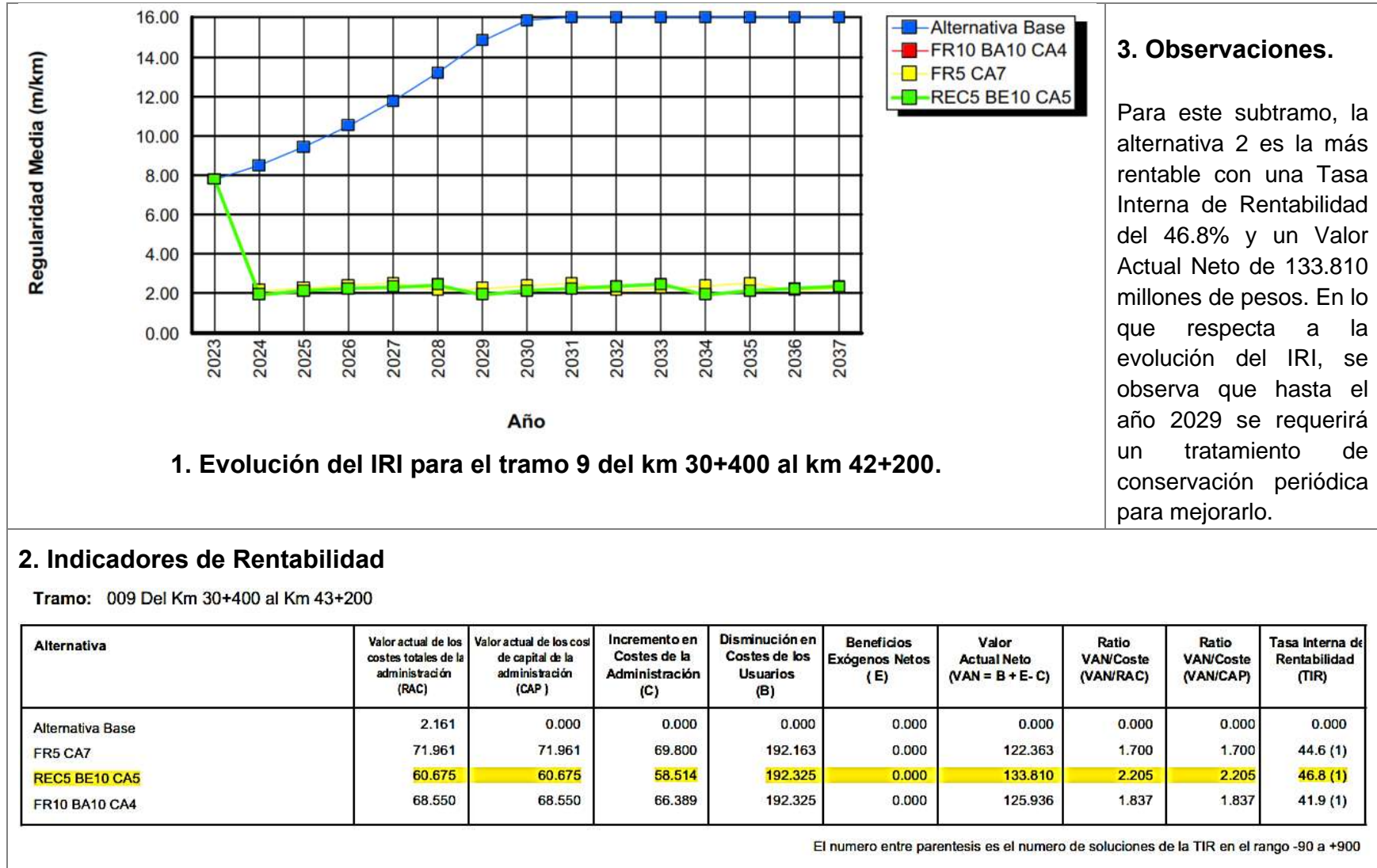
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 008 Del Km 21+400 al Km 30+400

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	4.848	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA5	17.323	17.323	12.475	49.115	0.000	36.639	2.115	2.115	41.6 (1)
REC10 BE10 CA5	44.875	44.875	40.027	49.000	0.000	8.973	0.200	0.200	14.7 (1)
FR10 BA10 CA4	20.455	20.455	15.607	49.106	0.000	33.499	1.638	1.638	35.3 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 55. Análisis HDM-4 para el tramo 9 del km 30+400 al km 42+200.



4. Puruándiro - Pastor Ortiz

Este tramo se dividió en 3 segmentos, cada uno con características homogéneas, para llevar a cabo un análisis más preciso. En la tabla 56 se presentan las alternativas de solución para estos subtramos.

Tabla 56. Puruándiro - Pastor Ortiz, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).

N°	Subtramos	Longitud (m)	Alternativas de Solución		
			1	2	3
1	0+000 - 4+000	4,000	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
2	4+000 - 36+600	32,600	Fresado 5cm y Carpeta de 4cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
3	36+600 - 40+400	3,800	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm

Para el subtramo 1, la alternativa 1 es la más rentable con una TIR del 108.3% y un VAN de 72.193 millones de pesos (ilustración 61). En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2030 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo (ilustración 62).

Tramo: 0001 Del Km 0+000 al Km 4+000

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.730	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA5	7.924	7.924	7.194	79.386	0.000	72.193	9.111	9.111	108.3 (1)
REC5 BE10 CA4	8.356	8.356	7.626	79.387	0.000	71.761	8.588	8.588	89.0 (1)
FR5 BA10 CA4	23.912	23.912	23.181	79.308	0.000	56.127	2.347	2.347	48.2 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Ilustración 61. Indicadores de rentabilidad de las alternativas del tramo 1

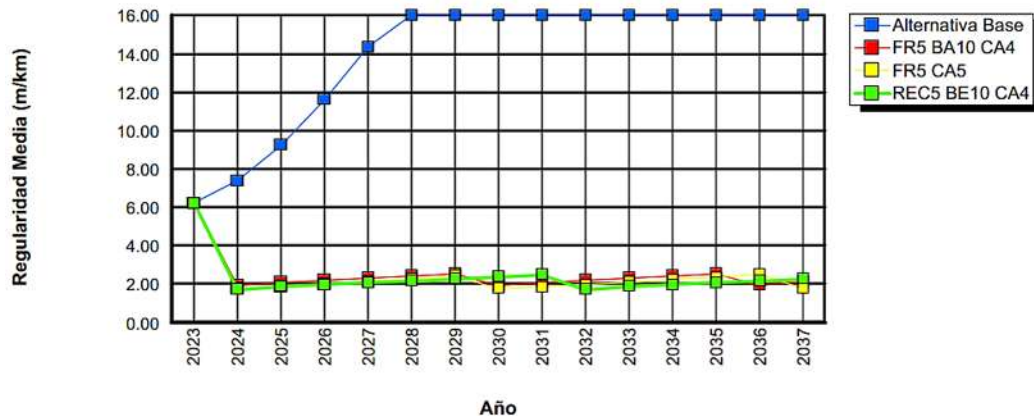
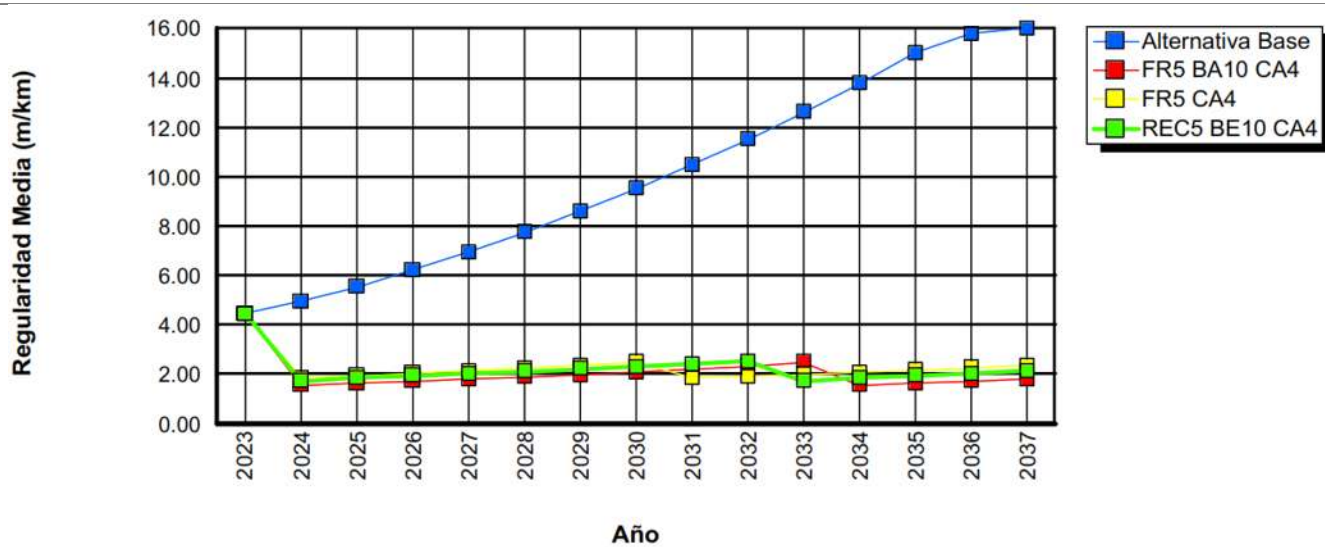


Ilustración 62. Evolución del IRI para el tramo 1 del km 0+000 al km 4+000

Tabla 57. Análisis HDM-4 para el tramo 2 del km 4+000 al km 36+600.



1. Evolución del IRI para el tramo 2 del km 4+000 al km 36+600.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 1 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 21.0% y un Valor Actual Neto de 46.521 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2031 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

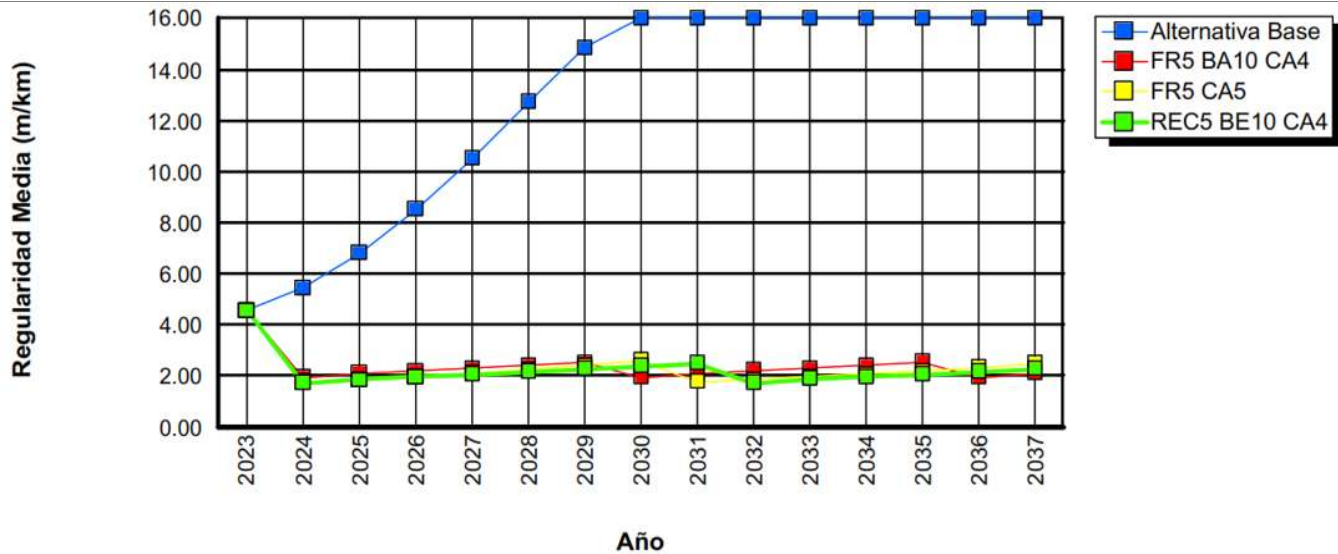
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 0002 Del Km 4+000 al Km 36+600

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costi de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	5.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA4	53.004	53.004	47.958	94.479	0.000	46.521	0.878	0.878	21.0 (1)
REC5 BE10 CA4	66.133	66.133	61.087	94.561	0.000	33.473	0.506	0.506	17.1 (1)
FR5 BA10 CA4	62.477	62.477	57.431	94.771	0.000	37.339	0.598	0.598	18.2 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 58. Análisis HDM-4 para el tramo 3 del km 36+600 al km 40+400.



1. Evolución del IRI para el tramo 3 del km 36+600 al km 40+400.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 1 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 67.5% y un Valor Actual Neto de 44.748 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2031 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 0003 Del Km 36+600 al Km 40+400

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.664	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA5	7.212	7.212	6.549	51.297	0.000	44.748	6.204	6.204	67.5 (1)
REC5 BE10 CA4	7.938	7.938	7.275	51.313	0.000	44.038	5.548	5.548	56.9 (1)
FR5 BA10 CA4	22.716	22.716	22.052	51.251	0.000	29.198	1.285	1.285	30.5 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

5. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes

Este tramo se dividió en 4 segmentos, cada uno con características homogéneas, para llevar a cabo un análisis más preciso. El primer subtramo será excluido del análisis por pertenecer a una zona urbana. En la tabla 59 se presentan las alternativas de solución para estos subtramos.

Tabla 59. Erongarícuaro-La Zarzamora, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).

N°	Subtramos	Longitud (m)	Alternativas de Solución		
			1	2	3
1	0+000 - 0+700	700	Zona Urbana, SIN tratamiento		
2	0+700 - 10+700	10,000	Fresado 5cm y Carpeta de 4cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
3	10+700 - 28+200	17,500	Fresado 5cm y Carpeta de 4cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
4	28+200 - 29+200	1,000	Fresado 5cm y Carpeta de 4cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm

Para el subtramo 1, la alternativa 1 es la más rentable con una TIR del 30.1% y un VAN de 24.779 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2030 será necesario implementar un tratamiento de conservación periódica para mejorar sus valores (Ilustraciones 63 y 64).

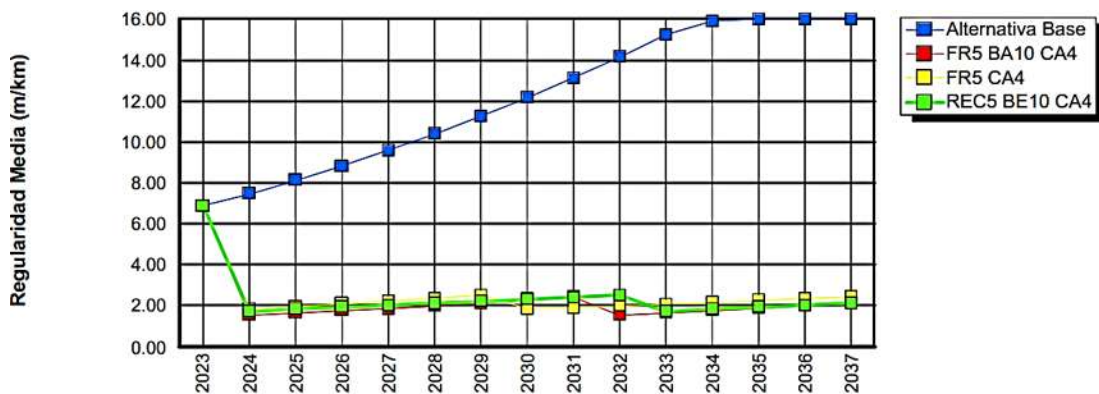


Ilustración 63. Evolución del IRI para el tramo 2 del km 0+700 al km 10+700.

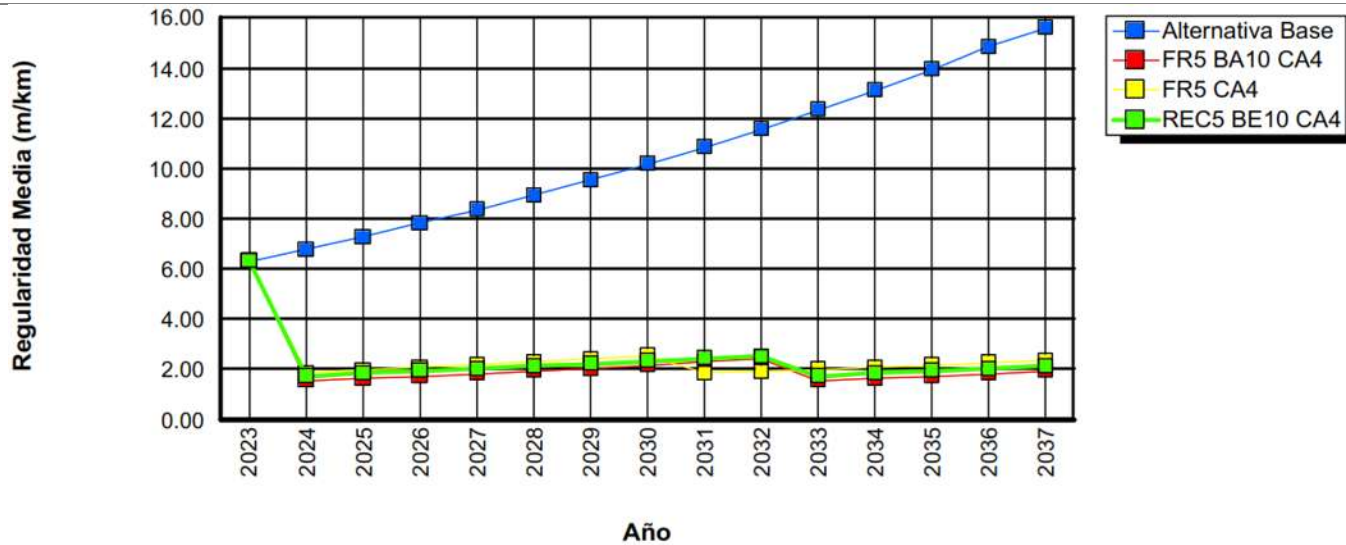
Tramo: 00002 Del Km 0+700 al Km 10+700

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	1.498	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA4	16.810	16.810	15.312	40.092	0.000	24.779	1.474	1.474	30.1 (1)
REC5 BE10 CA4	20.286	20.286	18.788	40.122	0.000	21.334	1.052	1.052	25.5 (1)
FR5 BA10 CA4	20.285	20.285	18.787	40.177	0.000	21.390	1.054	1.054	25.6 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Ilustración 64. Indicadores de rentabilidad de las alternativas del tramo 1.

Tabla 60. Análisis HDM-4 para el tramo 3 del km 10+700 al km 28+200.



1. Evolución del IRI para el tramo 3 del km 10+700 al km 28+200.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 1 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 14.5% y un Valor Actual Neto de 7.454 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2031 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

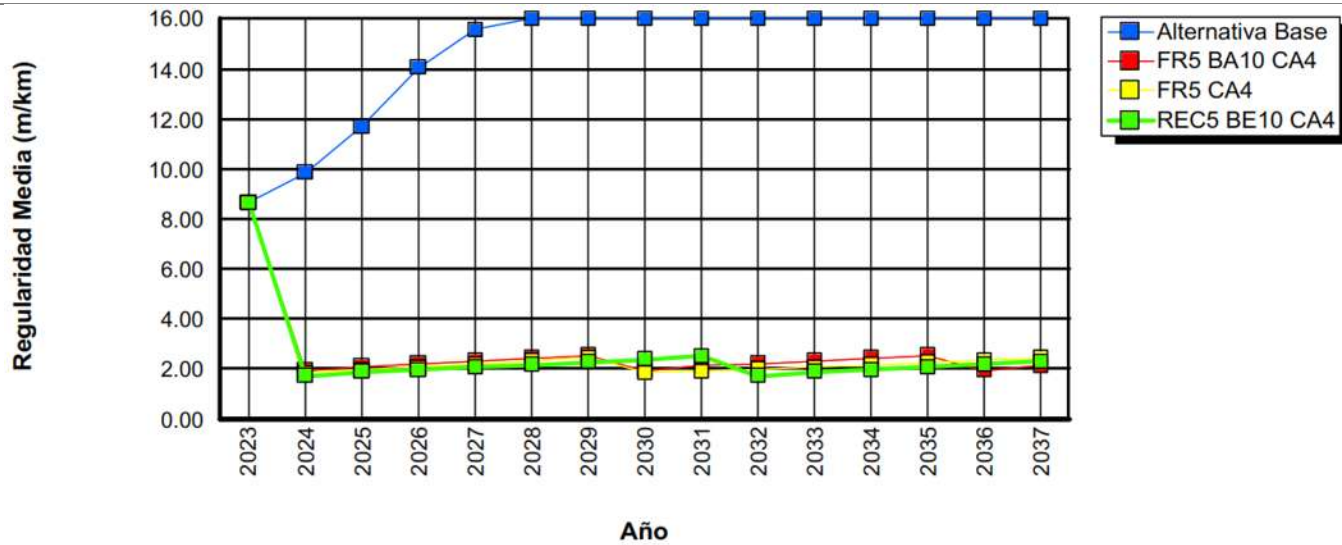
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 00003 Del Km 10+700 al Km 28+200

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costi de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	2.533	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA4	28.453	28.453	25.920	33.375	0.000	7.454	0.262	0.262	14.5 (1)
REC5 BE10 CA4	35.501	35.501	32.968	33.410	0.000	0.442	0.012	0.012	10.3 (1)
FR5 BA10 CA4	34.472	34.472	31.939	33.488	0.000	1.549	0.045	0.045	10.9 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 61. Análisis HDM-4 para el tramo 4 del km 28+200 al km 29+200.



1. Evolución del IRI para el tramo 4 del km 28+200 al km 29+200.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 1 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 131.5% y un Valor Actual Neto de 19.587 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2030 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: 00004 Del Km 28+200 al Km 29+200

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costes de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.184	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR5 CA4	1.921	1.921	1.738	21.324	0.000	19.587	10.195	10.195	131.5 (1)
REC5 BE10 CA4	2.387	2.387	2.204	21.331	0.000	19.127	8.011	8.011	105.2 (1)
FR5 BA10 CA4	6.832	6.832	6.648	21.311	0.000	14.663	2.146	2.146	52.8 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

- Evaluación de pavimentos - Grupo 5B

6. E.C. (Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta

Este tramo se dividió en 5 segmentos, cada uno con características homogéneas, para llevar a cabo un análisis más preciso. En la tabla 62 se presentan las alternativas de solución para estos subtramos.

Tabla 62. Coíntzio - La Huerta, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).

N°	Subtramos	Longitud (m)	Alternativas de Solución		
			1	2	3
1	0+000 - 3+000	3,000	Recuperación 5cm, Base 20cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 15cm y Carpeta de 5cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 5cm
2	3+000 - 7+000	4,000	Recuperación 5cm, Base 15cm y Carpeta de 4cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Base asfáltica 10cm y Carpeta de 4cm
3	7+000 - 9+200	2,200		Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Fresado 5cm y Carpeta de 7cm
4	9+200 - 12+000	2,800		Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Fresado 5cm y Carpeta de 7cm
5	12+000 - 12+800	800	Sin tratamiento		

Para el subtramo 1, la alternativa 2 es la más rentable con una TIR del 70.4% y un VAN de 51.864 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2032 será necesario implementar un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

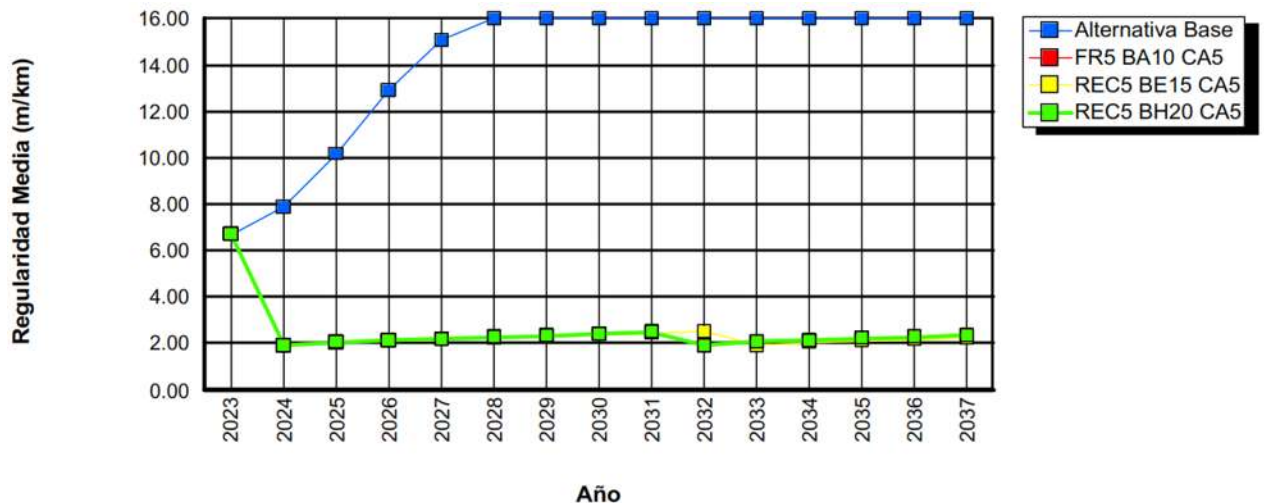


Ilustración 65. Evolución del IRI para el tramo 1 del km 0+000 al km 3+000.

Tabla 63. Análisis HDM-4 para el tramo 2 del km 3+000 al km 7+000.

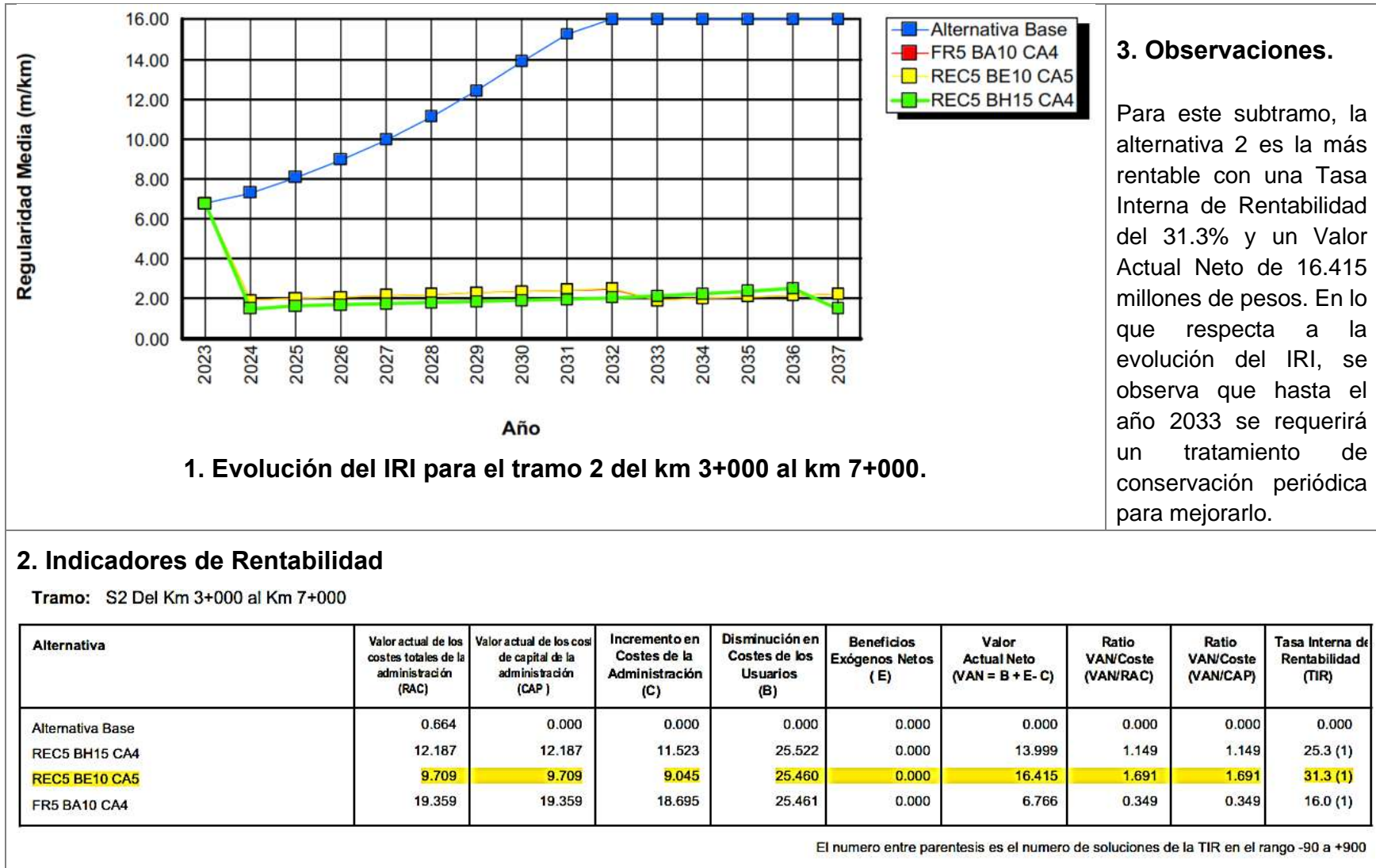
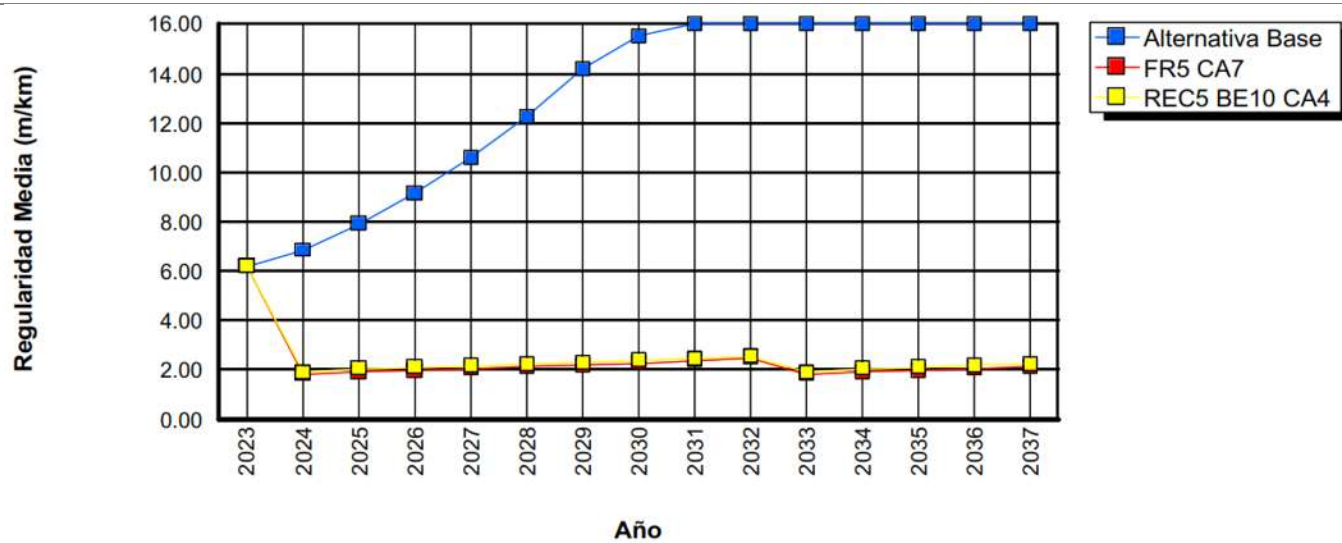


Tabla 64. Análisis HDM-4 para el tramo 3 del km 7+000 al km 9+200.



1. Evolución del IRI para el tramo 3 del km 7+000 al km 9+200.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 3 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 36.3% y un Valor Actual Neto de 15.167 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2032 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

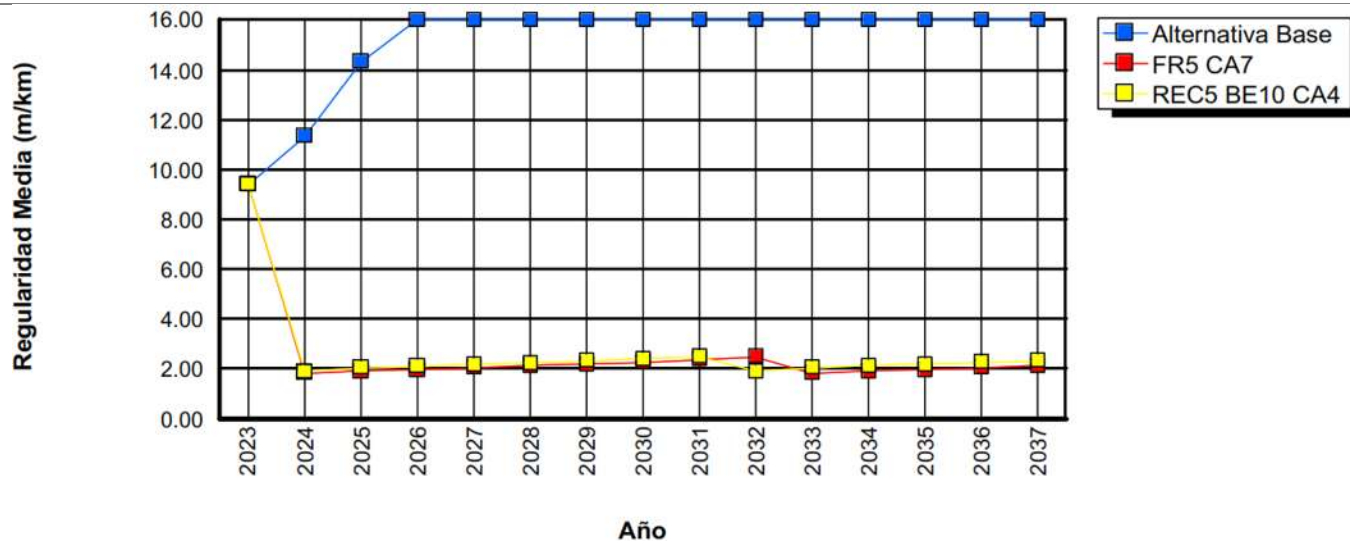
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S3 Del Km 7+000 al Km 9+200

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costi de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.386	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REC5 BE10 CA4	7.358	7.358	6.971	21.595	0.000	14.623	1.987	1.987	34.3 (1)
FR5 CA7	6.832	6.832	6.445	21.612	0.000	15.167	2.220	2.220	36.3 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 65. Análisis HDM-4 para el tramo 4 del km 9+200 al km 12+000.



1. Evolución del IRI para el tramo 4 del km 9+200 al km 12+000.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 3 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 111.1% y un Valor Actual Neto de 66.508 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2032 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

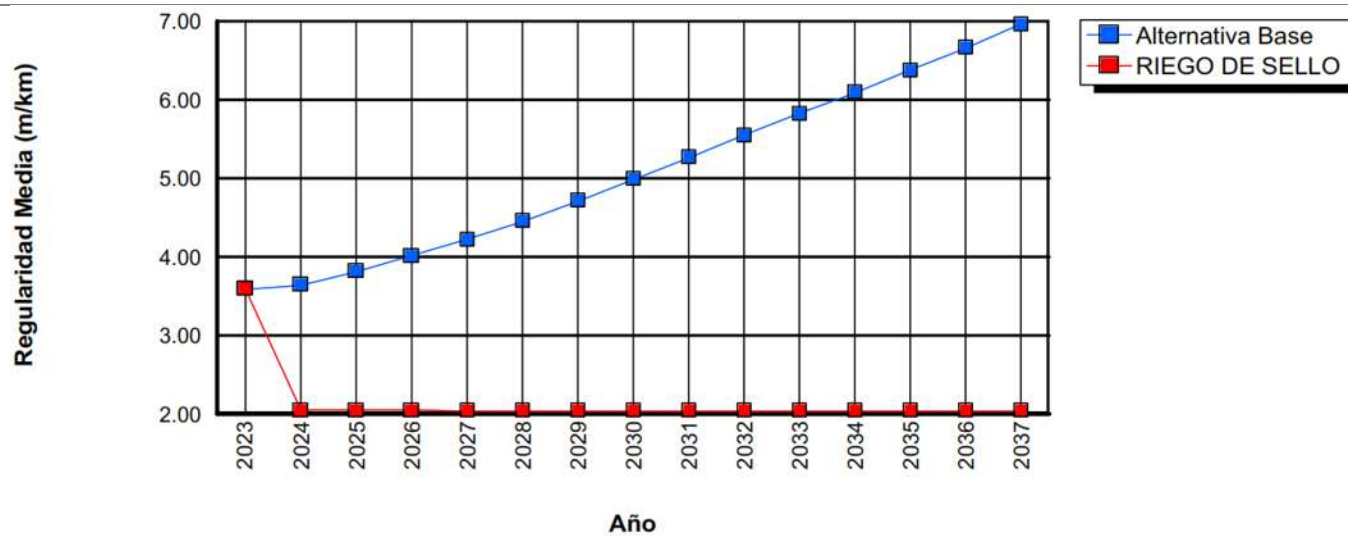
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S4 Del Km 9+200 al Km 12+000

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costes de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.628	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REC5 BE10 CA4	9.643	9.643	9.015	74.531	0.000	65.516	6.794	6.794	104.2 (1)
FR5 CA7	8.695	8.695	8.066	74.574	0.000	66.508	7.649	7.649	111.1 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 66. Análisis HDM-4 para el tramo 5 del km 12+000 al km 12+800.



1. Evolución del IRI para el tramo 5 del km 12+000 al km 12+800.

3. Observaciones.

Para este subtramo, no requiere tratamiento en rehabilitación, se programará para la etapa de conservación.

2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S5 Del Km 12+000 al Km 12+800

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costes de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.473	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
RIEGO DE SELLO	2.811	2.811	2.338	4.030	0.000	1.692	0.602	0.602	30.8 (1)

El número entre paréntesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

7. Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo

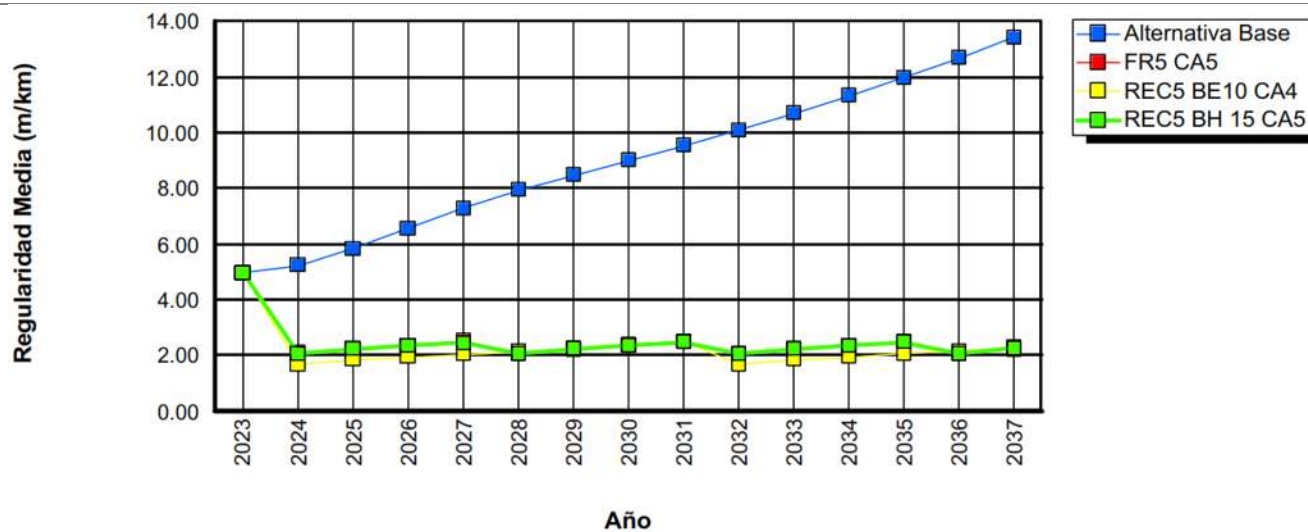
Este tramo se dividió en 14 segmentos, cada uno con características homogéneas, para llevar a cabo un análisis más preciso. Se excluye del análisis dos tramos, ya que pertenecen a zonas urbanas, donde no se dará tratamiento. En la tabla 67 se presentan las alternativas de solución para estos subtramos.

Tabla 67. Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo, Alternativas de solución (PEPSA, 2023).

N°	Subtramos	Longitud (m)	Alternativas de Solución		
			1	2	3
	0+000 - 1+000	1,000	Zona Urbana, SIN tratamiento		
1	1+000 - 3+900	2,900	Recuperación 5cm, Base 15cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm
2	3+900 - 8+400	4,500	Recuperación 5cm, Base 15cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm
3	8+400 - 9+400	1,000	Recuperación 5cm, Base 15cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm
	9+400 - 15+700	6,300	Zona Urbana, SIN tratamiento		
4	15+700 - 37+000	21,300	Recuperación 5cm, Base 15cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 5cm	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm
5	37+000 - 53+000	16,000	carpeta de alto desempeño de 5cm	Capa de rodadura SMA	Riego de Sello
6	53+000 - 57+400	4,400	Recuperación 5cm, Base 15cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Sobrecarpeta de 5cm
7	57+400 - 61+200	3,800	Recuperación 5cm, Base 15cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Sobrecarpeta de 5cm
8	61+200 - 72+000	10,800	Recuperación 5cm, Base 15cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Sobrecarpeta de 5cm
9	72+000 - 77+300	5,300	carpeta de alto desempeño de 5cm	Capa de rodadura SMA	carpeta convencional de 5cm
10	77+300 - 111+000	33,700	carpeta de alto desempeño de 5cm	Capa de rodadura SMA	Riego de Sello
11	111+000 - 114+000	3,000	Recuperación 5cm, Base 15cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm
12	114+000 - 123+200	9,200	Recuperación 5cm, Base 15cm y Carpeta de 5cm	Base espumada 10cm y Carpeta de 4cm	Fresado 5cm y Carpeta de 5cm

En las 68 a 79, se presenta los resultados de la evaluación de estos 12 subtramos en el software HDM-4 y la mejor alternativa seleccionada para llevar a punto en la etapa de rehabilitación.

Tabla 68. Análisis HDM-4 para el tramo 1 del km 1+000 al km 3+900.



1. Evolución del IRI para el tramo 1 del km 1+000 al km 3+900.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 2 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 45.1% y un Valor Actual Neto de 3.286 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2032 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

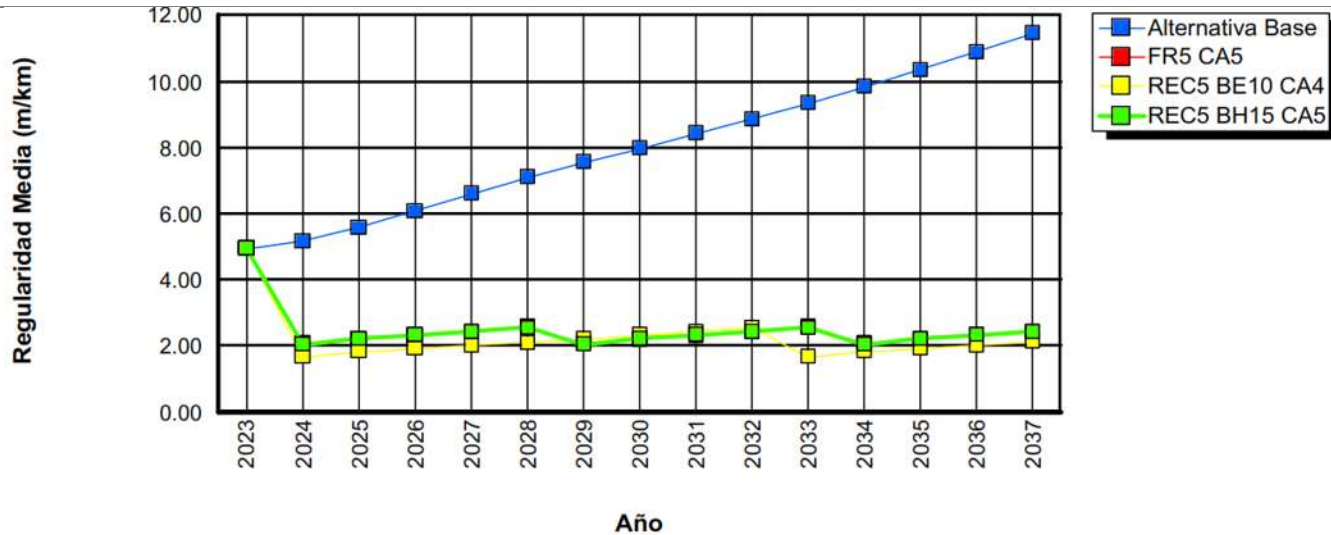
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S001 Del Km 1+000 al Km 1+300

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costi de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.192	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REC5 BH 15 CA5	1.907	1.907	1.715	4.156	0.000	2.441	1.280	1.280	34.5 (1)
REC5 BE10 CA4	1.075	1.075	0.884	4.169	0.000	3.286	3.056	3.056	45.1 (1)
FR5 CA5	1.690	1.690	1.499	4.156	0.000	2.657	1.572	1.572	39.1 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 69. Análisis HDM-4 para el tramo 2 del km 3+900 al km 8+400.



1. Evolución del IRI para el tramo 2 del km 3+900 al km 8+400.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 2 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 25.1% y un Valor Actual Neto de 7.497 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2033 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

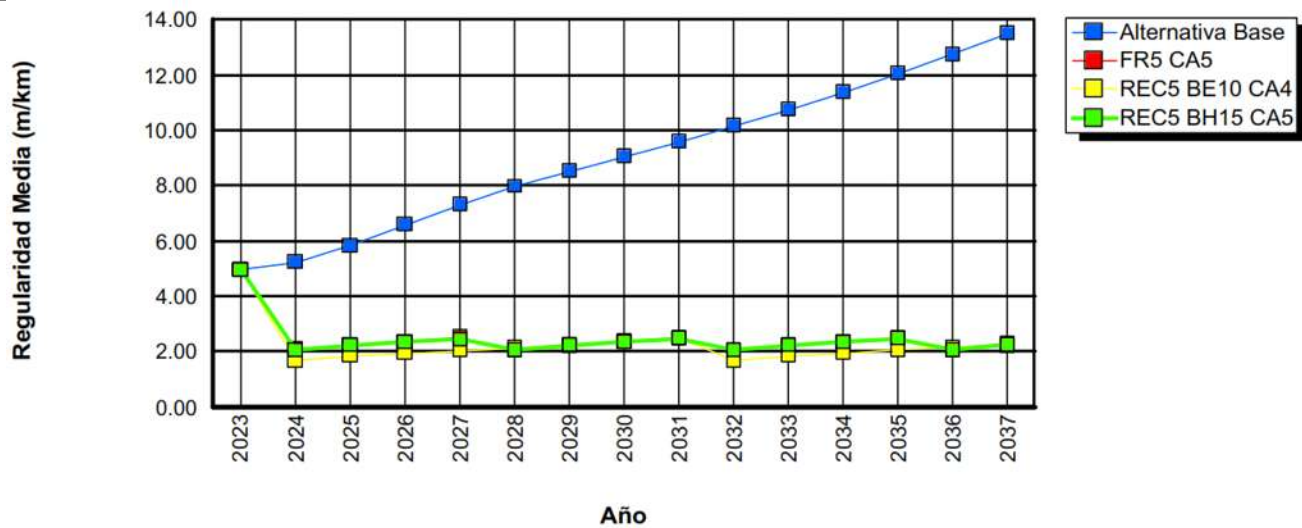
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S002 Del Km 1+300 al Km 2+600

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costi de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	1.264	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REC5 BH15 CA5	11.755	11.755	10.491	14.085	0.000	3.594	0.306	0.306	16.7 (1)
REC5 BE10 CA4	7.918	7.918	6.655	14.152	0.000	7.497	0.947	0.947	25.1 (1)
FR5 CA5	10.421	10.421	9.157	14.085	0.000	4.928	0.473	0.473	20.0 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 70. Análisis HDM-4 para el tramo 3 del km 8+400 al km 9+400.



1. Evolución del IRI para el tramo 3 del km 8+400 al km 9+400.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 2 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 41.8% y un Valor Actual Neto de 130.534 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2032 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

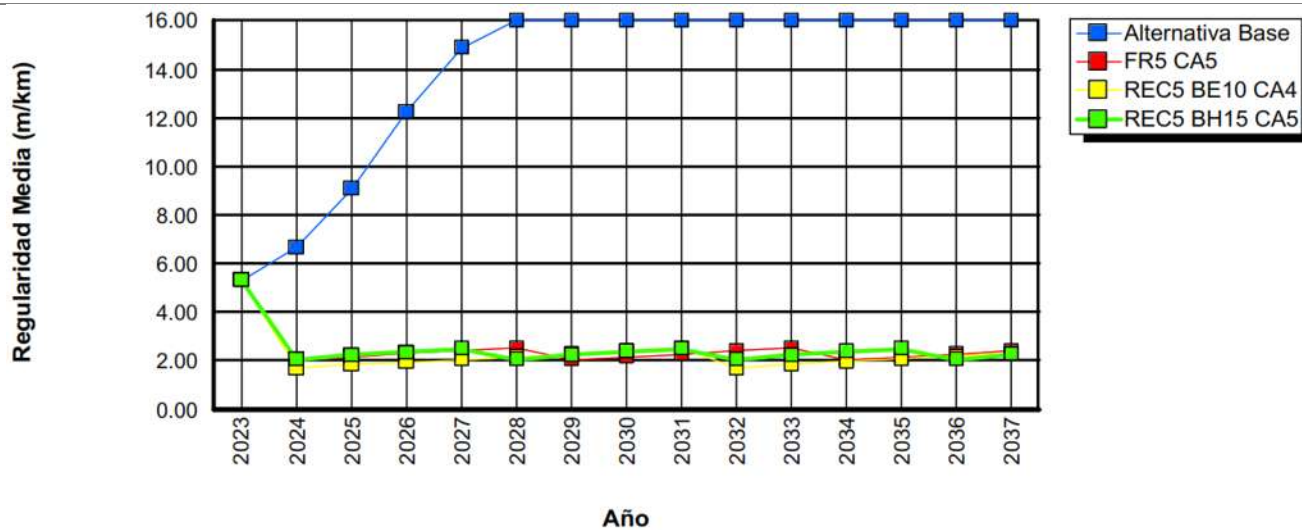
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S003 Del Km 2+600 al Km 14+500

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	8.351	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REC5 BH15 CA5	85.091	85.091	76.740	169.616	0.000	92.876	1.091	1.091	31.3 (1)
REC5 BE10 CA4	47.983	47.983	39.632	170.166	0.000	130.534	2.720	2.720	41.8 (1)
FR5 CA5	75.432	75.432	67.081	169.604	0.000	102.523	1.359	1.359	35.6 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 71. Análisis HDM-4 para el tramo 4 del km 15+700 al km 37+000.



1. Evolución del IRI para el tramo 4 del km 15+700 al km 37+000.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 3 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 92.6% y un Valor Actual Neto de 578.176 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2029 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

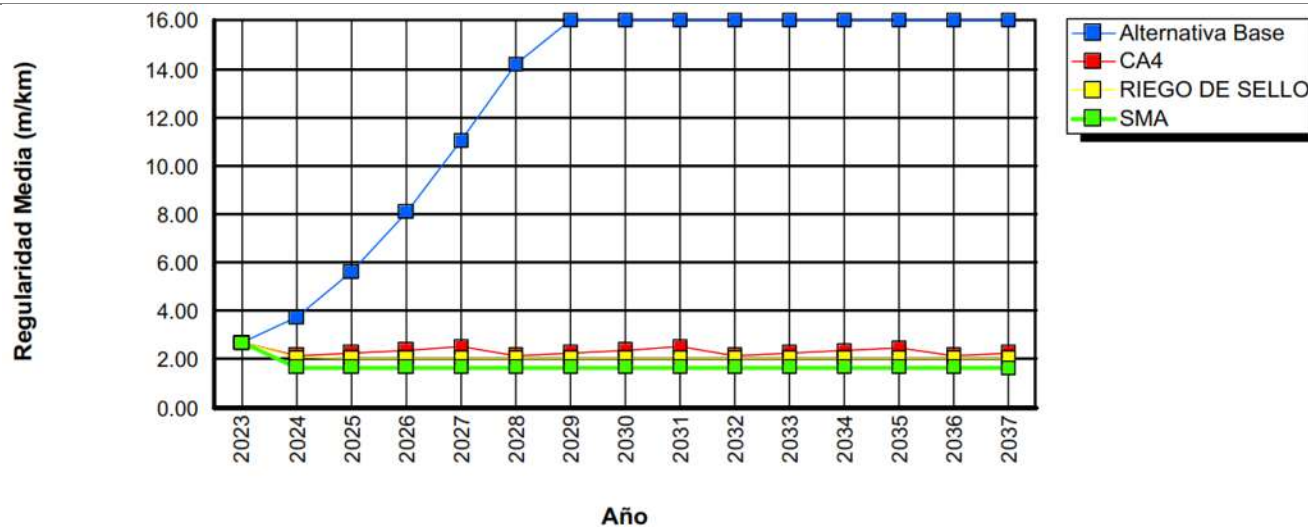
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S004 Del Km 15+700 al Km 37+000

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costi de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	4.217	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REC5 BH15 CA5	118.460	118.460	114.243	659.327	0.000	545.084	4.601	4.601	82.1 (1)
REC5 BE10 CA4	66.799	66.799	62.583	660.208	0.000	597.625	8.947	8.947	90.6 (1)
FR5 CA5	85.369	85.369	81.153	659.328	0.000	578.176	6.773	6.773	92.6 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 72. Análisis HDM-4 para el tramo 5 del km 37+000 al km 53+000.



1. Evolución del IRI para el tramo 5 del km 37+000 al km 53+000

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 3 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 106.0% y un Valor Actual Neto de 371.377 millones de pesos.

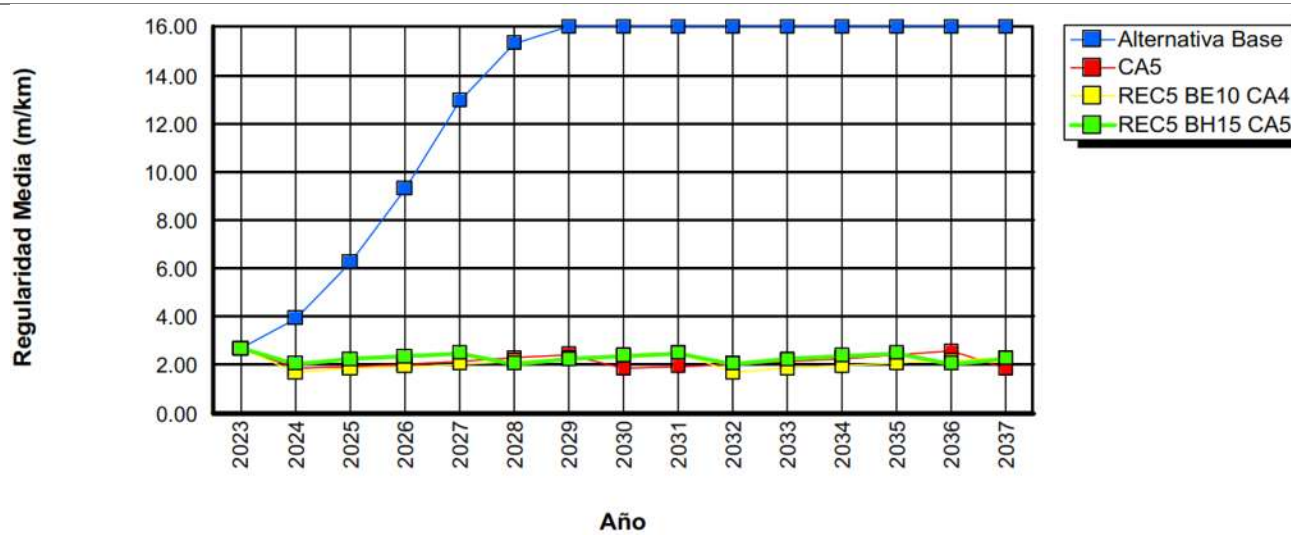
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S005 Del Km 37+000 al Km 53+000

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	3.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CA4	46.615	46.615	43.599	423.786	0.000	380.187	8.156	8.156	82.7 (1)
SMA	168.672	168.672	165.656	425.714	0.000	260.057	1.542	1.542	44.6 (1)
RIEGO DE SELLO	56.224	56.224	53.208	424.545	0.000	371.337	6.605	6.605	106.0 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 73. Análisis HDM-4 para el tramo 6 del km 53+000 al km 57+400.



1. Evolución del IRI para el tramo 6 del km 53+000 al km 57+400

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 3 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 94.7% y un Valor Actual Neto de 114.117 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2030 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

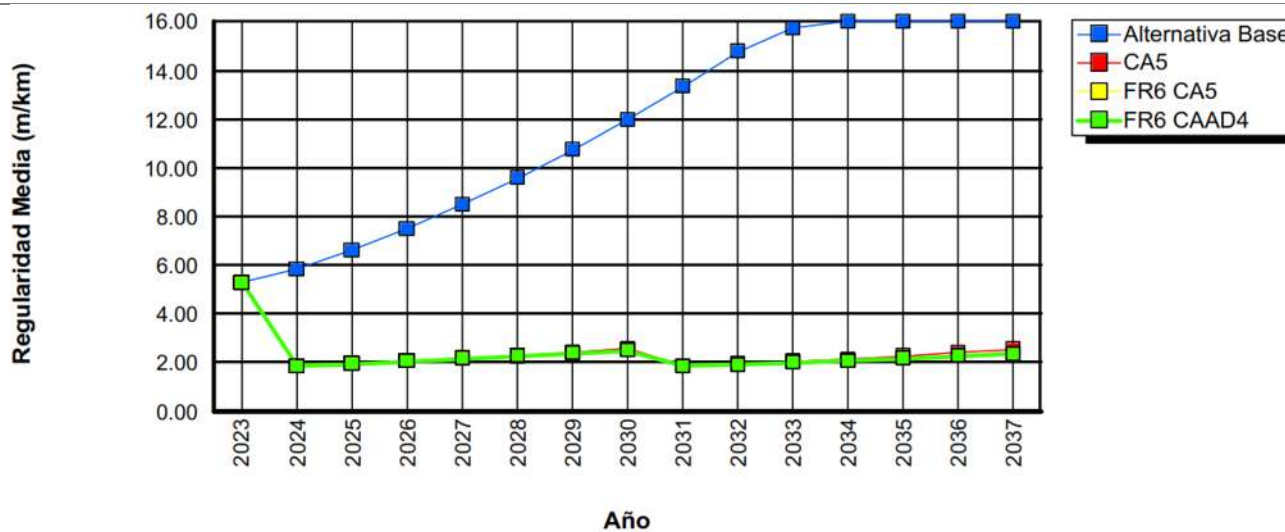
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S006 Del Km 53+000 al Km 57+400

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costi de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.871	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REC5 BH15 CA5	24.471	24.471	23.599	122.824	0.000	99.225	4.055	4.055	61.3 (1)
REC5 BE10 CA4	13.799	13.799	12.928	123.006	0.000	110.078	7.977	7.977	68.7 (1)
CA5	9.708	9.708	8.837	122.954	0.000	114.117	11.755	11.755	94.7 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 74. Análisis HDM-4 para el tramo 7 del km 57+400 al km 61+200.



1. Evolución del IRI para el tramo 7 del km 57+400 al km 61+200.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 3 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 37.2% y un Valor Actual Neto de 47.664 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2031 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

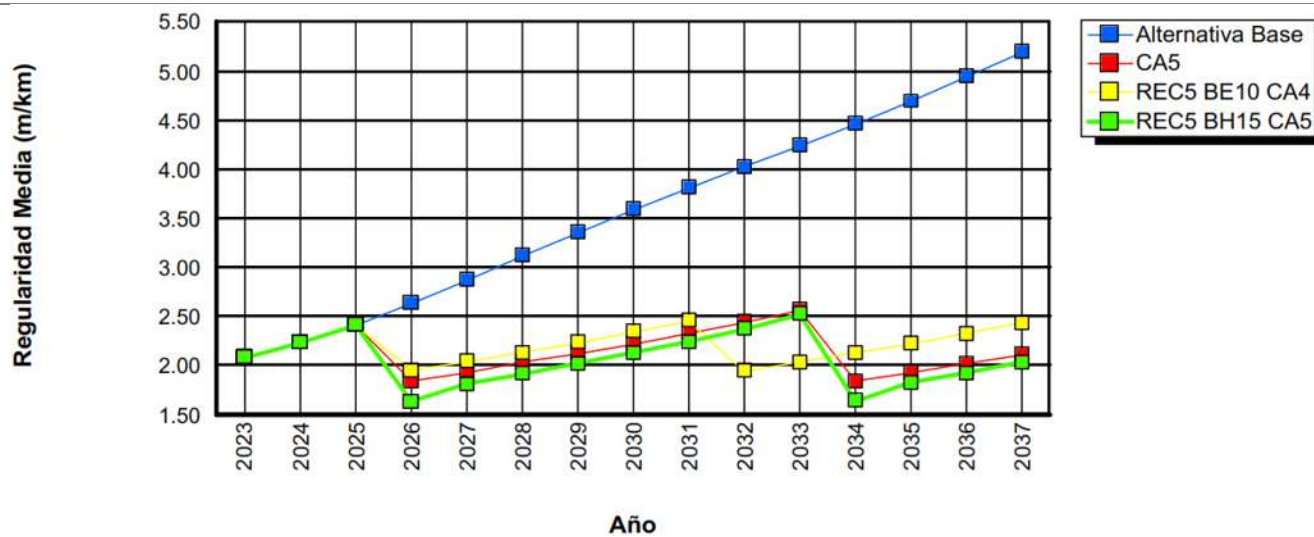
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S007 Del Km 57+400 al Km 61+200

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.574	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FR6 CA5	24.162	24.162	23.588	72.371	0.000	48.783	2.019	2.019	34.2 (1)
FR6 CAAD4	23.909	23.909	23.335	72.367	0.000	49.033	2.051	2.051	34.5 (1)
CA5	25.247	25.247	24.674	72.337	0.000	47.664	1.888	1.888	37.2 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 75. Análisis HDM-4 para el tramo 8 del km 61+200 al km 72+000.



1. Evolución del IRI para el tramo 8 del km 61+200 al km 72+000.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 3 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 12.2% y un Valor Actual Neto de 1.793 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2034 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

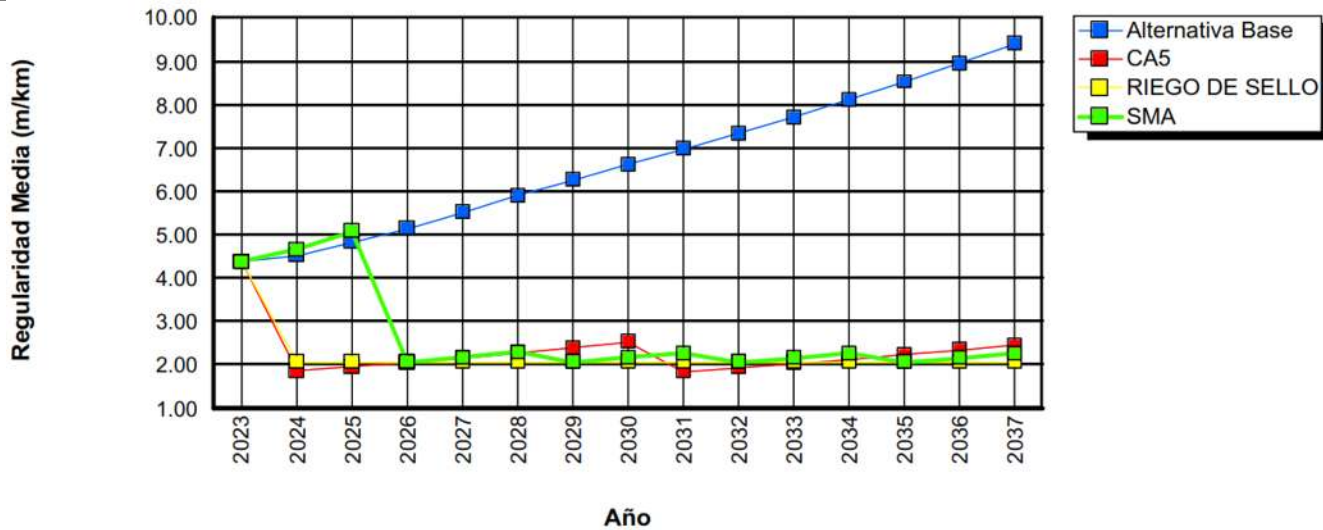
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S008 Del Km 61+200 al Km 72+000

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	2.612	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REC5 BH15 CA5	25.426	25.426	22.814	14.940	0.000	-7.874	-0.310	-0.310	2.6 (1)
REC5 BE10 CA4	16.373	16.373	13.761	14.664	0.000	0.904	0.055	0.055	11.0 (2)
CA5	15.576	15.576	12.964	14.757	0.000	1.793	0.115	0.115	12.2 (2)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 76. Análisis HDM-4 para el tramo 9 del km 72+000 al km 77+300.



1. Evolución del IRI para el tramo 9 del km 72+000 al km 77+300.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 3 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 19.9% y un Valor Actual Neto de 4.451 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2030 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

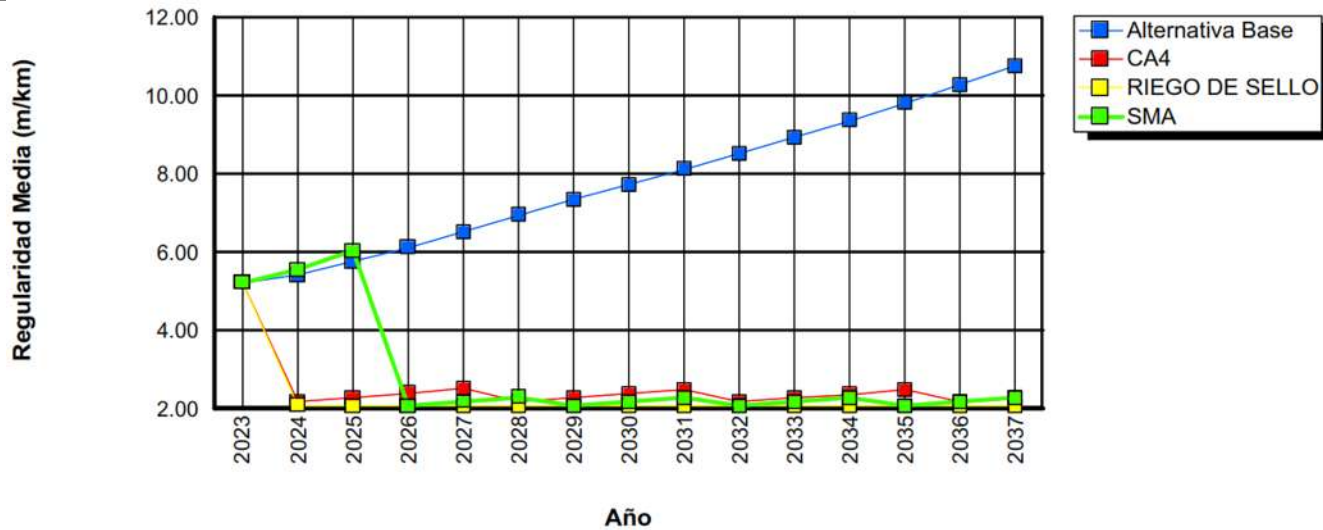
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S009 Del Km 72+000 al Km 77+300

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costi de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	2.876	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CA5	11.204	11.204	8.328	20.163	0.000	11.834	1.056	1.056	32.0 (1)
SMA	19.581	19.581	16.705	18.041	0.000	1.336	0.068	0.068	13.4 (2)
RIEGO DE SELLO	18.624	18.624	15.748	20.199	0.000	4.451	0.239	0.239	19.9 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 77. Análisis HDM-4 para el tramo 10 del km 77+300 al km 111+000.



1. Evolución del IRI para el tramo 10 del km 77+300 al km 111+000.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 3 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 37.2% y un Valor Actual Neto de 72.840 millones de pesos.

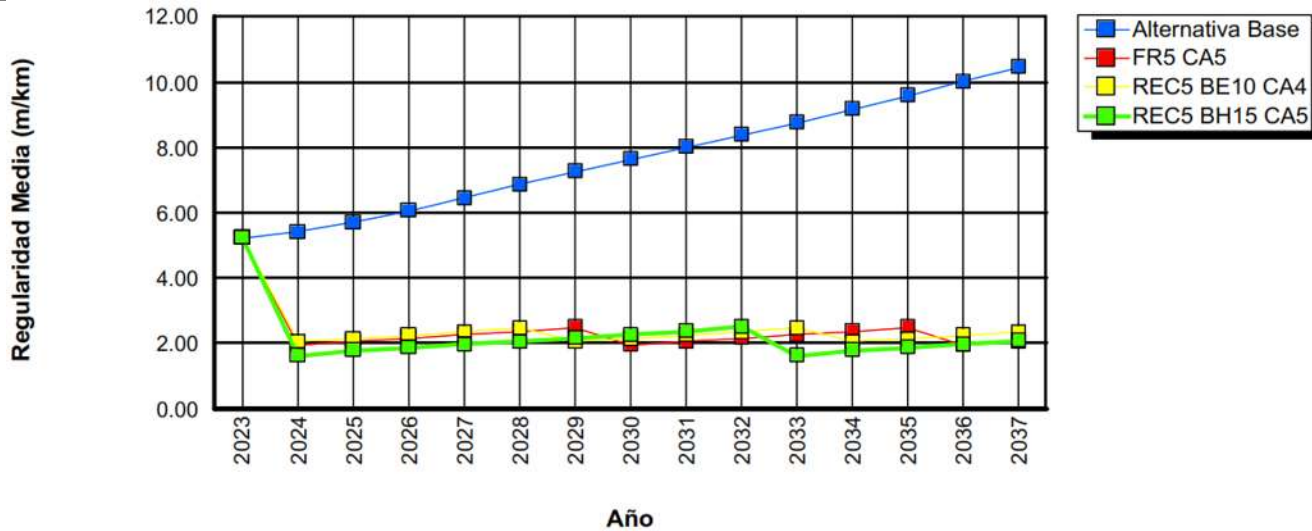
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S010 Del Km 77+300 al Km 111+000

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costi de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	18.109	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CA4	98.183	98.183	80.074	172.373	0.000	92.299	0.940	0.940	34.0 (1)
SMA	124.504	124.504	106.395	152.559	0.000	46.164	0.371	0.371	27.3 (2)
RIEGO DE SELLO	118.422	118.422	100.313	173.154	0.000	72.840	0.615	0.615	37.2 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 78. Análisis HDM-4 para el tramo 11 del km 111+000 al km 114+000.



1. Evolución del IRI para el tramo 11 del km 111+000 al km 114+000.

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 2 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 16.4% y un Valor Actual Neto de 3.539 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2029 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

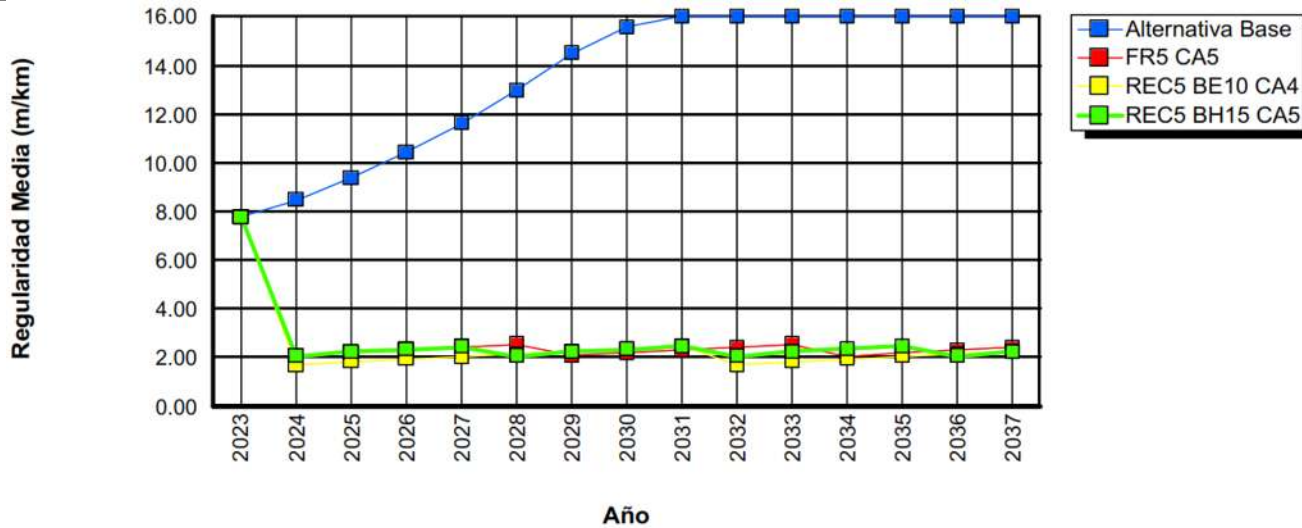
2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S011 Del Km 111+000 al Km 114+000

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costes de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	2.740	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REC5 BH15 CA5	16.598	16.598	13.857	14.984	0.000	1.126	0.068	0.068	11.5 (1)
REC5 BE10 CA4	14.115	14.115	11.375	14.914	0.000	3.539	0.251	0.251	16.4 (1)
FR5 CA5	14.829	14.829	12.089	14.929	0.000	2.840	0.191	0.191	15.3 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 79. Análisis HDM-4 para el tramo 12 del km 114+000 al km 123+200.



1. Evolución del IRI para el tramo 12 del km 114+000 al km 123+200

3. Observaciones.

Para este subtramo, la alternativa 2 es la más rentable con una Tasa Interna de Rentabilidad del 53.3% y un Valor Actual Neto de 102.110 millones de pesos. En lo que respecta a la evolución del IRI, se observa que hasta el año 2032 se requerirá un tratamiento de conservación periódica para mejorarlo.

2. Indicadores de Rentabilidad

Tramo: S012 Del Km 114+000 al Km 123+200

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costi de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	1.537	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REC5 BH15 CA5	51.166	51.166	49.629	129.226	0.000	79.598	1.556	1.556	42.9 (1)
REC5 BE10 CA4	28.852	28.852	27.315	129.425	0.000	102.110	3.539	3.539	53.3 (1)
FR5 CA5	36.873	36.873	35.336	129.196	0.000	93.860	2.545	2.545	52.1 (1)

El numero entre parentesis es el numero de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

4.4.6 Puesta a Punto de Grupo Centro

En la tabla 80 se presentan las fechas programadas para las actividades de puesta a punto en cada tramo, así como los costos asociados a rehabilitación, conservación, financiamiento e infraestructura de los tramos analizados.

Tabla 80. Calendario de Puesta a punto de los activos viales en estudio.

Grupo	Tramo	Longitud (km)	Rehabilitación		Conservación		Duración etapa de conservación		Inversión		Inversión Multianual	Costo de Financiamiento	Costo de Infraestructura
			Inicio	Término	Inicio	Término	Meses	Días	Rehabilitación	Conservación			
5A	Circuito Periférico de Morelia	26	Jun 23	Jun 24	Sep 24	Dic 24	32	942	\$88,259,273.90	\$106,531,105.71	\$194,790,379.60	\$36,699,570.71	\$158,090,808.89
					Ene 25	Dic 25							
					Ene 26	Dic 26							
					Ene 27	Abr 27							
	Ramal Camelinas	4.52	Abr 24	Jun 24	Ago 24	Dic 24	34	1003	\$7,651,274.73	\$11,453,284.28	\$19,104,559.02	\$3,599,403.19	\$15,505,155.83
					Ene 25	Dic 25							
					Ene 26	Dic 26							
	Zacapu - Villachuato	43.2	Dic 23	Jul 24	Ago 24	Dic 24	34	1003	\$140,069,344.32	\$61,895,921.99	\$201,965,266.30	\$38,051,358.52	\$163,913,907.78
					Ene 25	Dic 25							
					Ene 26	Dic 26							
					Ene 27	May 27							
	Puruándiro - Pastor Ortiz	40.88	Jun 23	Jun 24	Ago 24	Dic 24	34	1003	\$97,978,791.61	\$17,807,742.83	\$115,786,534.44	\$21,814,815.07	\$93,971,719.37
Ene 25					Dic 25								
Ene 26					Dic 26								
Ene 27					May 27								
Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes	29.2	Nov 23	Jun 24	Ago 24	Dic 24	34	1003	\$66,640,776.39	\$17,994,428.79	\$84,635,205.18	\$15,945,734.61	\$68,689,470.57	
				Ene 25	Dic 25								
				Ene 26	Dic 26								
				Ene 27	May 27								
5B	E.C. (Morelia-Jiquilpan) - Cointzio - La Huerta	12.86	Jul 23	Ago 24	Ago 24	Dic 24	34	1003	\$52,279,347.49	\$17,635,160.37	\$69,914,507.86	\$13,172,274.88	\$56,742,232.98
					Ene 25	Dic 25							
					Ene 26	Dic 26							
					Ene 27	May 27							
	Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo	123.23	Jul 23	Ago 24	Ago 24	Dic 24	34	1003	\$257,934,772.59	\$126,166,768.69	\$384,101,541.28	\$72,366,826.86	\$311,734,714.42
					Ene 25	Dic 25							
					Ene 26	Dic 26							
					Ene 27	May 27							
Totales =		279.89							\$710,813,581.03	\$359,484,412.66	\$1,070,297,993.68	\$201,649,983.84	\$868,648,009.84

5. ANÁLISIS DE DATOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta el análisis de los datos recopilados antes y esperados para después de las intervenciones realizadas durante la puesta a punto de los tramos carreteros en estudio, así como la interpretación de los resultados obtenidos. El objetivo es proporcionar una visión detallada de las condiciones iniciales de los pavimentos, las proyecciones a futuro y las condiciones finales después de la puesta a punto de las actividades de conservación. Se utilizaron herramientas y métodos analíticos para evaluar los indicadores clave de desempeño, como el Índice de Regularidad Internacional (IRI), y parámetros de la condición estructural del pavimento, como las deflexiones. A través de estos análisis, se buscó evaluar la eficiencia de las acciones propuestas como alternativas de solución y llevadas a punto durante la etapa de ejecución.

5.1 Análisis de datos

5.1.1 Análisis de tránsito

En esta sección, se analizaron los datos de tránsito recolectados para determinar el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), la tasa de crecimiento y la composición vehicular.

Para el caso de los tramos donde se realizaron aforos vehiculares se empleó la siguiente metodología:

1. Cálculo del tránsito diario promedio semanal (TDPS)

El TDPS se calcula como el promedio del tránsito medido en los 7 días de la semana, ecuación (1).

$$TDPS = \frac{\text{Tránsito total medido}}{7} \quad (1)$$

2. Cálculo del error estándar (E)

El error estándar se calculó con la fórmula de la ecuación (2):

$$E = \frac{S}{\sqrt{n}} \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \quad (2)$$

Donde:

- S es la desviación estándar de la muestra de los volúmenes de tránsito diario.
- $n = 7$ (número de días de aforo).
- $N = 365$ (número de días del año).

3. Cálculo de la desviación estándar (S)

La desviación estándar muestral se calculó con la ecuación (3):

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(TDi - TDPS)^2}{n-1}} \quad (3)$$

Donde:

- TDi son los volúmenes de tránsito medidos diariamente.
- $TDPS$ es el promedio de esos volúmenes.

4. Cálculo del TDPA

El TDPA se obtuvo ajustando el TDPS con el error estándar (E) y el valor de K para un nivel de confianza del 95%, ecuación (4). Se obtiene el TDPA mínimo y máximo y se seleccionó el TDPA máximo.

$$TDPA = TDPS \pm KE \quad (4)$$

Donde:

- $K = 1.96$ para un nivel de confianza del 95%.
- E = error estándar de la media

5. Cálculo de la tasa de crecimiento vehicular (TC)

La tasa de crecimiento vehicular (TC) se calculó utilizando la fórmula de la tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR), que estima el crecimiento promedio del tráfico vehicular a lo largo de un periodo de tiempo, ecuación (5). Este análisis se llevó a cabo con datos de aforos vehiculares obtenidos de la DGST de la SICT, disponibles en la sección de "Datos Viales".

$$TC = \left(\left(\frac{TDPA_i}{TDPA_0} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \times 100 \quad (5)$$

Donde:

- TC es la tasa de crecimiento vehicular,
- TDPA_i es el tráfico promedio diario actual,
- TDPA₀ es el tráfico promedio diario en el año base, y
- n es el número de años entre el año base y el año actual.

6. Cálculo de TDPA años futuros

Con el TDPA calculado y la tasa de crecimiento obtenida, se estimaron los valores del TDPA para los años 2024, 2025, 2026 y 2027.

7. Determinación de la composición vehicular

Con el TDPA calculado y la tasa de crecimiento obtenida, se estimaron los valores del TDPA para los años 2024, 2025, 2026 y 2027.

Para el caso de los tramos, donde no se contaba con información de aforos previamente realizados, se utilizaron los datos de aforos obtenidos de la sección de "Datos Viales" de la DGST de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT).

Se recopilaron datos viales desde el año 2012 hasta el 2023, los cuales se emplearon para realizar un análisis de regresión lineal simple (RLS) con el fin de estimar los valores futuros del TDPA y calcular las tasas de crecimiento correspondientes.

- **Análisis de tránsito - Grupo 5A**

1. Circuito Periférico de Morelia

1.1 Resultados de análisis de aforo vehicular - Estación 1: km 4+300

En la tabla 81, se muestran los volúmenes de tránsito medidos durante una semana en la estación 1 y el cálculo del TDPA mínimo y máximo, aplicando las fórmulas correspondientes. Se seleccionó el TDPA máximo para garantizar mayor precisión en la evaluación a realizar.

Tabla 81. Análisis TDPA, Circuito Periférico de Morelia, Estación 1: km 4+300

Día	Tránsito Diario (TDi)	Tránsito Diario Promedio Semanal (TDPS)	(E) Error estándar de la media			
			TDi - TDPS	(TDi-TDPS) ² / (n-1)	S	E
Lunes	79,295	77,878	1,417	334,716	3,604	1,351
Martes	79,842		1,964	642,976		
Miércoles	75,539		-2,339	911,709		
Jueves	77,118		-760	96,230		
Viernes	82,688		4,810	3,856,246		
Sábado	79,200		1,322	291,344		
Domingo	71,463		-6,415	6,858,399		
Total=	545,145					

TDPA_{máximo} = **80,526** vehículos mixtos / día

TDPA_{mínimo} = 75,230 vehículos mixtos / día

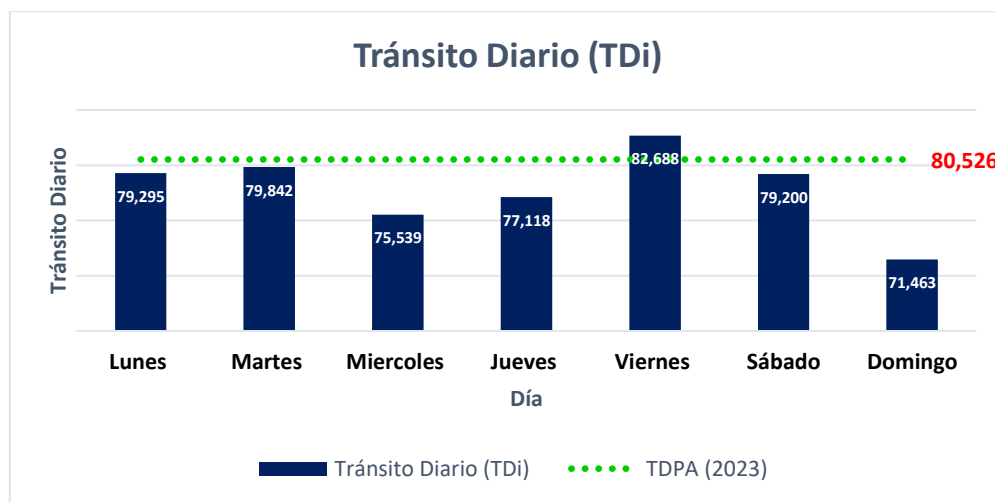


Ilustración 66. Gráfica de aforo semanal realizado. Circuito Periférico de Morelia - Estación 1, km 4+300.

Para calcular la tasa de crecimiento vehicular (TC), se utilizaron los datos de aforo de la estación de conteo ubicada en la ciudad de Morelia, Michoacán, en la salida a Salamanca, en el km 2+700 de la carretera Morelia – Salamanca (tabla 82). La estación de conteo tiene las siguientes características: TE= 3 y SC= 2.

Tabla 82 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Salamanca, ubicada en el km 2+700.

Año Base	TDPA
2012	32228
2013	30305
2014	32914
2015	34794
2016	33282
2017	32385
2018	34312
2019	41905
2020	27588
2021	39605
2022	40669
2023	38060

Utilizando los datos de la tabla 82, se realizó un análisis de regresión lineal simple (ilustración 67), donde se obtuvo un TDPA proyectado para el año 2024 de 39,286 vehículos/día. Con base en este valor y tomando el año 2023 como año base, se calculó una tasa de crecimiento del 3.22%.

$$y = 685.42 (2024) - 1348003.81 = TDPA_{2024} = 39,286 \text{ veh/día}$$

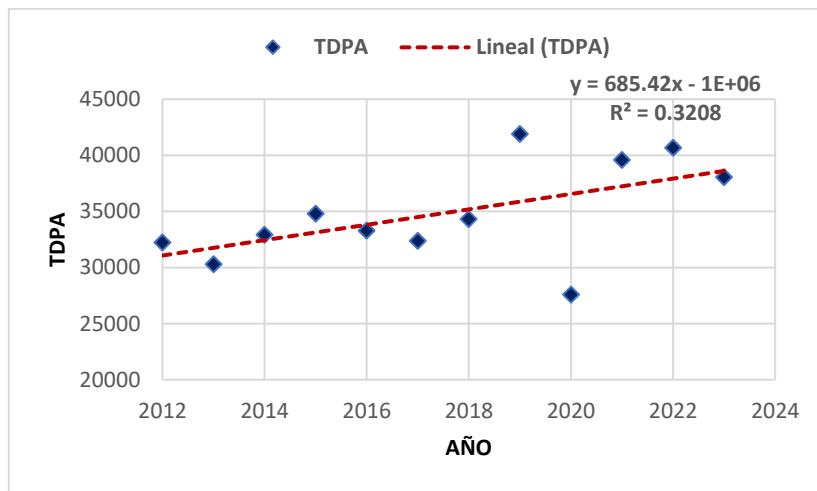


Ilustración 67. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Salamanca, ubicada en el km 2+700

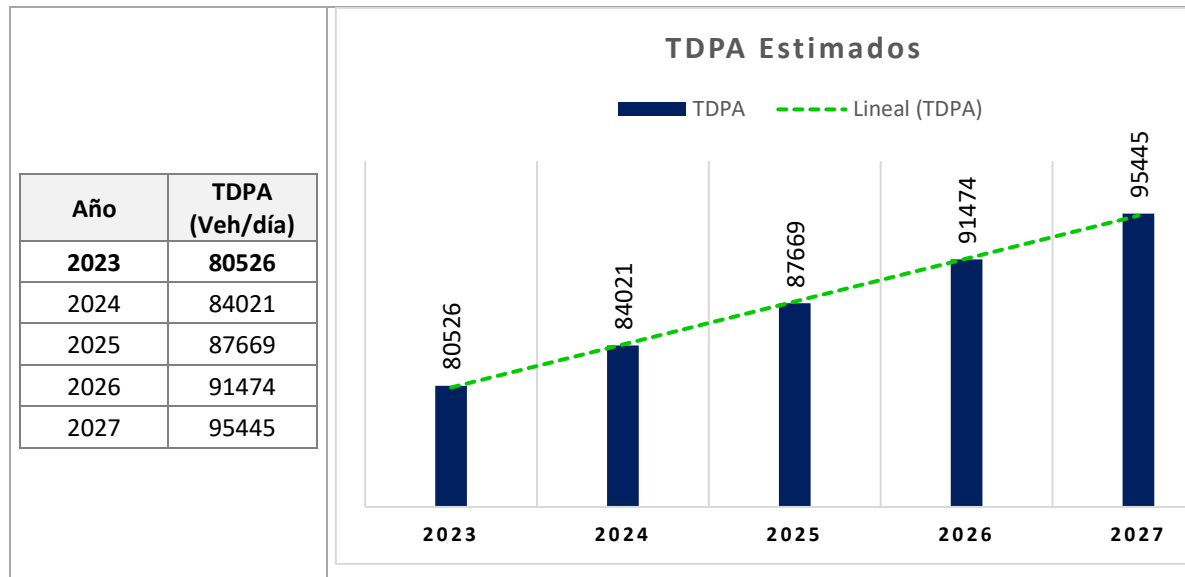
Sin embargo, se considera que la tasa de crecimiento de 3.22% es baja, ya que la tendencia del análisis de regresión lineal está influenciado por el TDPA del año 2020, año marcado por la pandemia. Debido a esto, se realizó un nuevo análisis para calcular la TC, considerando únicamente los datos de los años 2018 a 2022, para obtener una estimación más precisa. Este análisis arrojó una TC de 4.34% (tabla 83).

Tabla 83. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Morelia – Salamanca, ubicada en el km 2+700

Año _i =	2022
Año ₀ =	2018
TDPA _i =	40669
TDPA ₀ =	34312
n =	4
TDPA _i /TDPA ₀ =	1.185
(TDPA _i /TDPA ₀) ^{^(1/n)} =	1.043
(((TDPA _i /TDPA ₀) ^{^(1/n)})-1)*100=	4.341
(%) TC =	4.34

Con el TDPA₂₀₂₃ de 80,526 vehículos/día y la TC de 4.34% se estimaron los valores de TDPA para los años mostrados en la tabla 84.

Tabla 84. TDPA estimados. Circuito Periférico de Morelia. Estación 1: km 4+300



A continuación, en la tabla 85, se presentan los resultados de la composición vehicular obtenidos de los volúmenes de tránsito medidos durante una semana en la estación 1.

Tabla 85. Composición vehicular. Circuito Periférico de Morelia. Estación 1

Composición Vehicular (%)						
Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones		
A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
94.66%	0.44%	2.15%	2.15%	0.23%	0.25%	0.11%

1.2 Resultados de análisis de aforo vehicular - Estación 2: km 12+300

En la tabla 86, se muestran los volúmenes de tránsito medidos durante una semana en la estación 2 y el cálculo para la obtención del TDPA máximo.

Tabla 86. Análisis TDPA, Circuito Periférico de Morelia, Estación 2: km 12+300

Día	Tránsito Diario (TDi)	Tránsito Diario Promedio Semanal (TDPS)	(E) Error estándar de la media			
			TDi - TDPS	(TDi-TDPS) ² / (n-1)	S	E
Lunes	57,797	53,548	4,248	3,007,773	3,913	1,467
Martes	52,728		-821	112,285		
Miércoles	56,202		2,654	1,173,540		
Jueves	58,486		4,938	4,063,206		
Viernes	50,275		-3,273	1,785,931		
Sábado	50,392		-3,156	1,660,547		
Domingo	48,960		-4,588	3,509,004		
Total=	374,839					

TDPA_{máximo} = **56,423 vehículos mixtos / día**

TDPA_{mínimo} = 50,674 vehículos mixtos / día

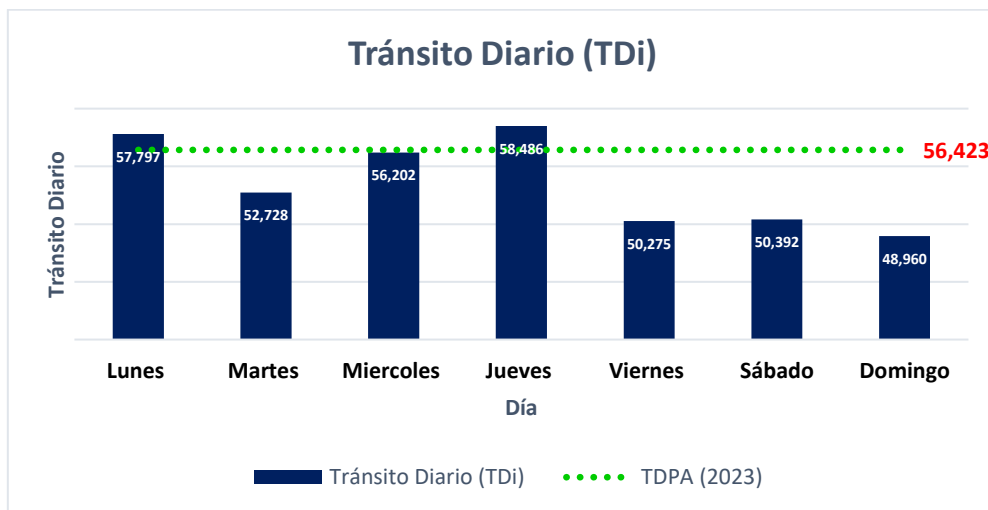


Ilustración 68. Gráfica de aforo semanal realizado. Circuito Periférico de Morelia - Estación 2, km 12+300.

Para calcular la tasa de crecimiento vehicular (TC), se utilizaron los datos de aforo de la estación de conteo ubicada en Xangari, en Morelia, Michoacán, ubicada en el km 3+000 de la carretera Morelia - Pátzcuaro (tabla 87). La estación de conteo tiene las siguientes características TE= 3 y SC= 1.

Tabla 87 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Pátzcuaro, ubicada en el km 3+000.

Año Base	TDPA
2012	18943
2013	21400
2014	21615
2015	22395
2016	18095
2017	18310
2018	17757
2019	20223
2020	15121
2021	18703
2022	19107
2023	17243

Utilizando los datos de la tabla 87, se realizó un análisis de regresión lineal simple (ilustración 69), donde se obtuvo un TDPA proyectado para el año 2024 de 17,034 vehículos/día. Con base en este valor y tomando el año 2023 como año base, se calculó una tasa de crecimiento negativa de -1.21%.

$$y = -315.59 (2024) + 655788 = TDPA_{2024} = 17,034 \text{ veh/día}$$

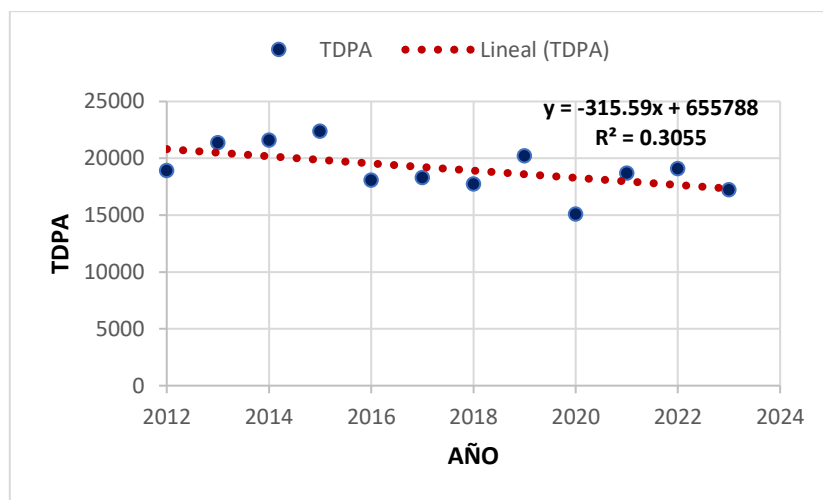


Ilustración 69. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Pátzcuaro, ubicada en el km 3+000.

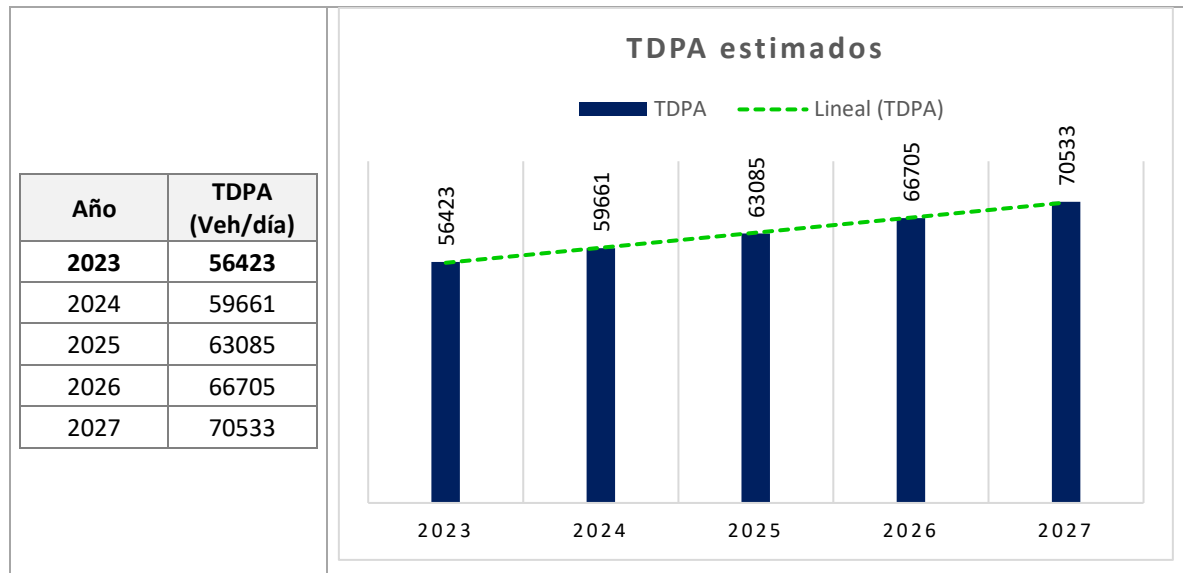
Sin embargo, para la estimación del tránsito futuro no es posible proyectar con tasas de crecimiento negativas, por lo que se considera que la tasa negativa de -1.21% no es factible. Debido a esto, se realizó un nuevo análisis para calcular la TC, tomando en cuenta únicamente los datos de los años 2012 a 2015, los cuales muestran una tendencia de crecimiento. Este análisis arrojó una tasa de crecimiento del 5.74% (tabla 88), proporcionando una estimación más precisa.

Tabla 88. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Morelia – Pátzcuaro, ubicada en el km 3+000.

Año _i =	2015
Año ₀ =	2012
TDPA _i =	22395
TDPA ₀ =	18943
n =	3
TDPA _i /TDPA ₀ =	1.182
(TDPA _i /TDPA ₀) ^{^(1/n)} =	1.057
(((TDPA _i /TDPA ₀) ^{^(1/n)})-1)*100=	5.739
(%) TC =	5.74

Con el TDPA₂₀₂₃ de 56,423 vehículos/día y la TC de 5.74% se estimaron los valores de TDPA para los años mostrados en la tabla 89.

Tabla 89. TDPA estimados. Circuito Periférico de Morelia. Estación 2: km 4+300



A continuación, en la tabla 90, se presentan los resultados de la composición vehicular obtenidos de los volúmenes de tránsito medidos durante una semana en la estación 2.

Tabla 90. Composición vehicular. Circuito Periférico de Morelia. Estación 2

Composición Vehicular (%)						
Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones		
A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
97.16%	1.75%	0.59%	0.47%	0.02%	0.00%	0.00%

1.3 Resultados de análisis de aforo vehicular - Estación 3: km 20+700

En la tabla 91, se muestran los volúmenes de tránsito medidos durante una semana en la estación 3 y el cálculo para la obtención del TDPA máximo.

Tabla 91. Análisis TDPA, Circuito Periférico de Morelia, Estación 3: km 20+700

Día	Tránsito Diario (TDi)	Tránsito Diario Promedio Semanal (TDPS)	(E) Error estándar de la media			
			TDi - TDPS	(TDi-TDPS) ² / (n-1)	S	E
Lunes	68,581	65,536	3,045	1,545,193	3,152	1,182
Martes	67,858		2,322	898,503		
Miércoles	62,187		-3,349	1,869,460		
Jueves	66,177		641	68,450		
Viernes	66,405		869	125,819		
Sábado	67,403		1,867	580,859		
Domingo	60,142		-5,394	4,849,463		
Total=	458,753					

TDPA_{máximo} = **67,852 vehículos mixtos / día**

TDPA_{mínimo} = 63,220 vehículos mixtos / día

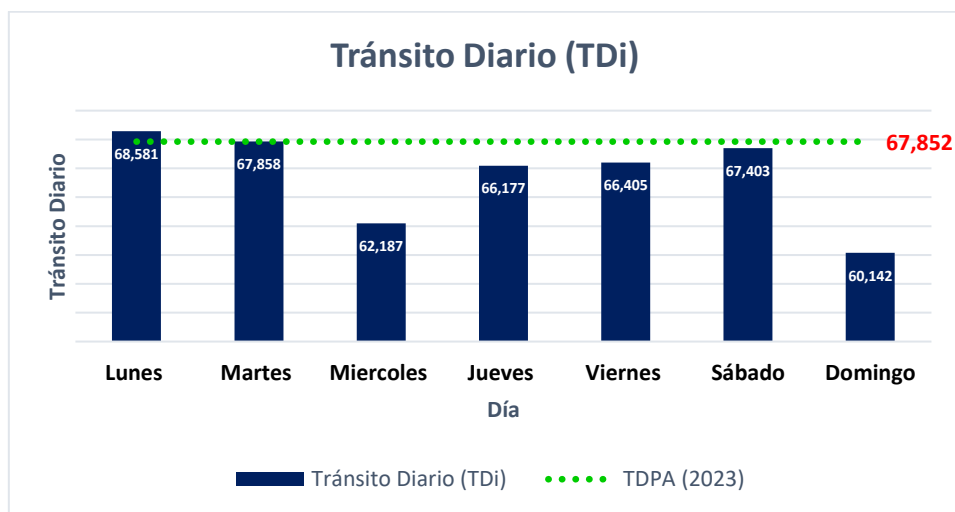


Ilustración 70. Gráfica de aforo semanal realizado. Circuito Periférico de Morelia - Estación 3, km 20+700.

Para calcular la tasa de crecimiento vehicular (TC), se utilizaron los datos de aforo de la estación de conteo ubicada al poniente de Morelia, en el km 3+100 de la carretera Morelia - Jiquilpan (tabla 92). La estación de conteo tiene las siguientes características TE= 3 y SC= 1.

Tabla 92 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Jiquilpan, ubicada en el km 3+100.

Año Base	TDPA
2012	S/D
2013	S/D
2014	S/D
2015	7389
2016	8781
2017	8760
2018	8525
2019	10284
2020	8077
2021	8792
2022	9158
2023	9603

Utilizando los datos de la tabla 92, se realizó un análisis de regresión lineal simple (ilustración 71), donde se obtuvo un TDPA proyectado para el año 2024 de 9,619 vehículos/día. Con base en este valor y tomando el año 2023 como año base, se calculó una tasa de crecimiento de 0.17%.

$$y = 160.05 (2024) - 314322 = TDPA_{2024} = 9,619 \text{ veh/día}$$

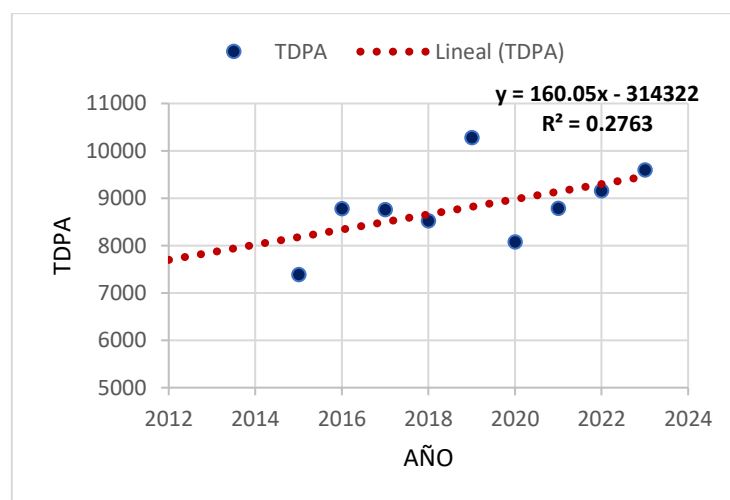


Ilustración 71. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia – Jiquilpan, ubicada en el km 3+100.

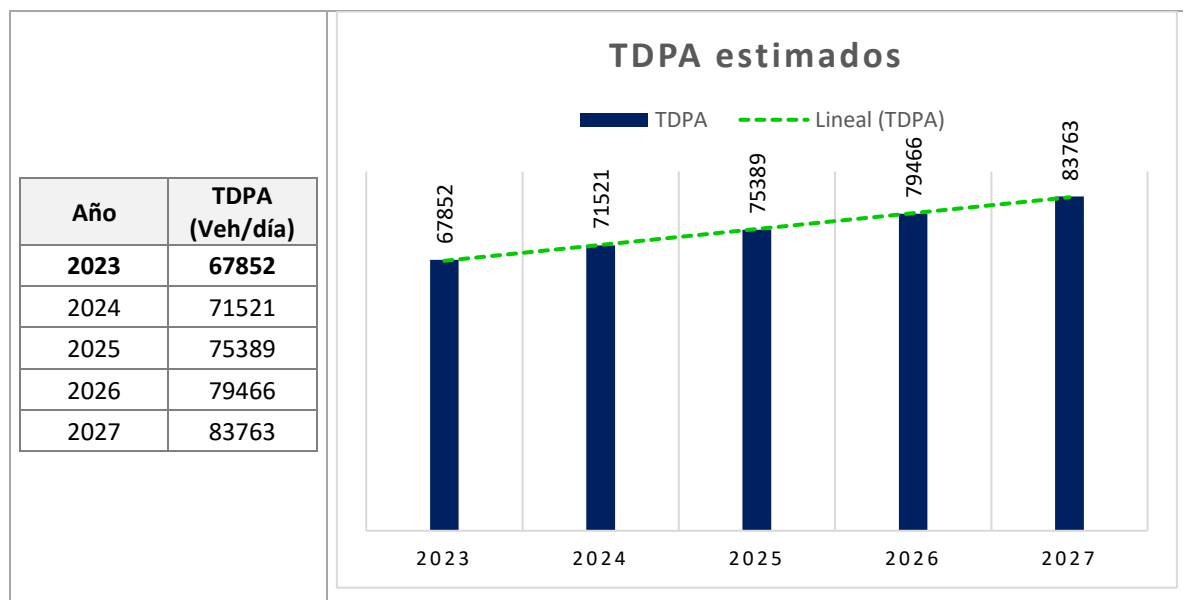
Sin embargo, se considera que la tasa de crecimiento de 0.17% es baja y no es viable para proyectar tránsitos futuros. Debido a esto, se realizó un nuevo análisis para calcular la TC, considerando únicamente los datos de los años 2016 a 2019, para obtener una estimación más precisa. Este análisis arrojó una TC de 5.41% (tabla 93).

Tabla 93. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Morelia – Jiquilpan, ubicada en el km 3+100.

Año _i =	2019
Año ₀ =	2016
TDPA _i =	10284
TDPA ₀ =	8781
n =	3
TDPA _i /TDPA ₀ =	1.171
(TDPA _i /TDPA ₀) ^(1/n) =	1.054
(((TDPA _i /TDPA ₀) ^(1/n) -1)*100=	5.408
(%) TC =	5.41

Con el TDPA₂₀₂₃ de 67,852 vehículos/día y la TC de 5.41% se estimaron los valores de TDPA para los años mostrados en la tabla 94.

Tabla 94. TDPA estimados. Circuito Periférico de Morelia. Estación 3: km 4+300



A continuación, en la tabla 95, se presentan los resultados de la composición vehicular obtenidos de los volúmenes de tránsito medidos durante una semana en la estación 3.

Tabla 95. Composición vehicular. Circuito Periférico de Morelia. Estación 3

(%) Composición Vehicular						
Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones		
A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
89.86%	2.78%	2.85%	1.33%	0.95%	1.55%	0.68%

1.4 Resultados de análisis de aforo vehicular – Circuito Periférico de Morelia.

En las tablas 96 y 97 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en las tres estaciones aforadoras, así como un promedio ponderado que integra los datos de todas las estaciones, con el objetivo de representar el comportamiento de tránsito en todo el tramo en estudio.

Tabla 96. Resumen de resultados de aforos vehiculares realizados para el Circuito Periférico de Morelia

No. Estación	TDPA ₂₀₂₃	(%) TC	TDPA Estimados			
			2024	2025	2026	2027
1	80526	4.3408	84021	87669	91474	95445
2	56423	5.7387	59661	63085	66705	70533
3	67852	5.4078	71521	75389	79466	83763
Promedio Ponderado	68267	5.1625	71735	75381	79215	83247

Tabla 97. Resumen de resultados de la composición vehicular para el Circuito Periférico de Morelia

(%) Composición Vehicular							
No. Estación	Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones		
	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
1	94.66%	0.44%	2.15%	2.15%	0.23%	0.25%	0.11%
2	97.16%	1.75%	0.59%	0.47%	0.02%	0.00%	0.00%
3	89.86%	2.78%	2.85%	1.33%	0.95%	1.55%	0.68%
Promedio Ponderado	93.89%	1.66%	1.86%	1.32%	0.40%	0.60%	0.26%

Para fines de la investigación, se utilizarán los promedios ponderados obtenidos de las distintas estaciones aforadoras. Estos promedios ponderados aseguran que se consideren adecuadamente las variaciones en el volumen de tránsito a lo largo del Circuito Periférico de Morelia.

2. Ramal Camelinas

En la tabla 98, se muestran los volúmenes de tránsito medidos durante una semana y el cálculo del TDPA mínimo y máximo, aplicando las fórmulas correspondientes. Se seleccionó el TDPA máximo para garantizar mayor precisión en la evaluación a realizar.

Tabla 98. Análisis TDPA, Ramal Camelinas, Estación 1: km 4+500

Día	Tránsito Diario (TDi)	Tránsito Diario Promedio Semanal (TDPS)	(E) Error estándar de la media			
			TDi - TDPS	(TDi-TDPS) ² / (n-1)	S	E
Lunes	10,102	9,612	490	40,063	872	327
Martes	9,827		215	7,725		
Miércoles	10,072		460	35,310		
Jueves	10,652		1,040	180,366		
Viernes	9,824		212	7,511		
Sábado	8,317		-1,295	279,381		
Domingo	8,488		-1,124	210,456		
Total=	67,282					

TDPA_{máximo} = **10,253 vehículos mixtos / día**

TDPA_{mínimo} = 8,971 vehículos mixtos / día

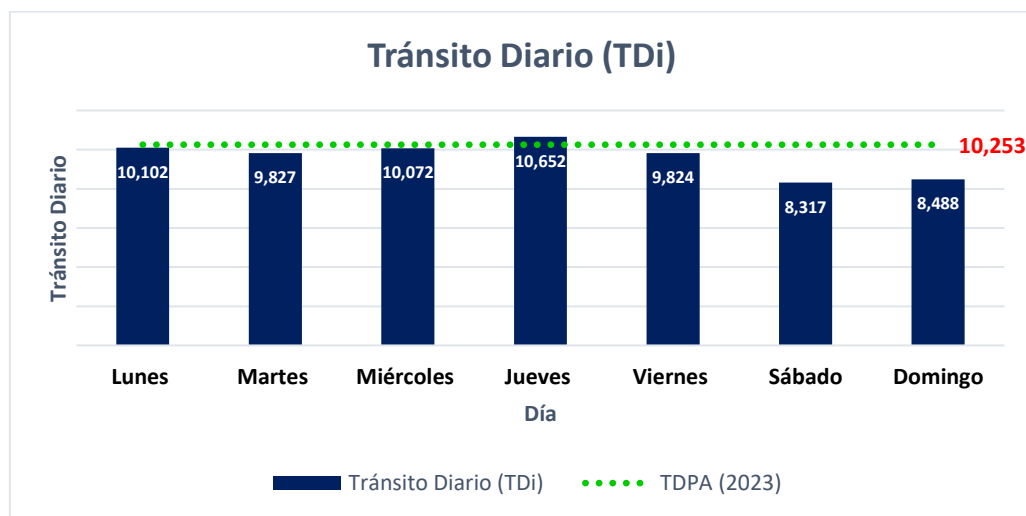


Ilustración 72. Gráfica de aforo semanal realizado. Ramal Camelinas, Estación 1: km 4+500.

Para calcular la tasa de crecimiento vehicular (TC), se utilizaron los datos de aforo de la estación de conteo ubicada en el Periférico de Morelia, en el oriente de Morelia,

en el km 238+600 de la carretera Toluca - Morelia (tabla 99). La estación de conteo tiene las siguientes características: TE= 1 y SC= 2.

Tabla 99 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Toluca - Morelia, ubicada en el km 238+600.

Año Base	TDPA
2012	1896
2013	2052
2014	10356
2015	12268
2016	12297
2017	12724
2018	13265
2019	12869
2020	11031
2021	12540
2022	12915
2023	14955

Utilizando los datos de la tabla 99, se realizó un análisis de regresión lineal simple (ilustración 73), donde se obtuvo un TDPA proyectado para el año 2024 de 16,505 vehículos/día. Con base en este valor y tomando el año 2023 como año base, se calculó una tasa de crecimiento del 10.36%.

$$y = 883.83 (2024) - 1772367.4 = TDPA_{2024} = 16,505 \text{ veh/día}$$

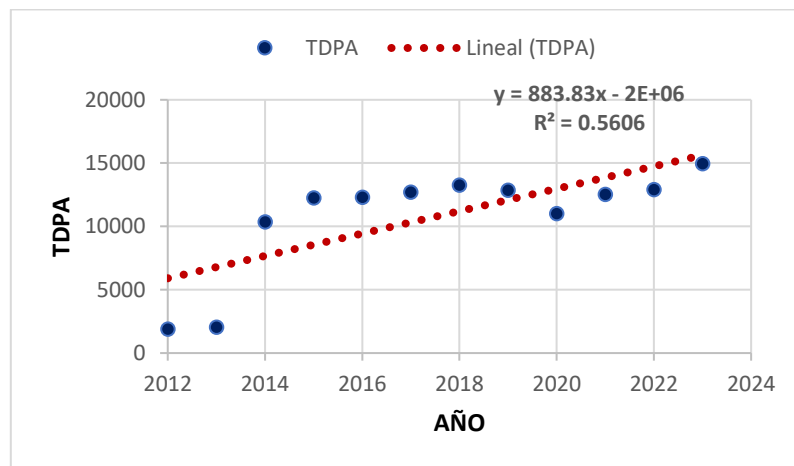


Ilustración 73. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Toluca - Morelia, ubicada en el km 238+600.

Sin embargo, una tasa de crecimiento vehicular del 10.36% se considera elevada, lo que podría indicar un incremento atípico o insostenible en el tránsito vehicular.

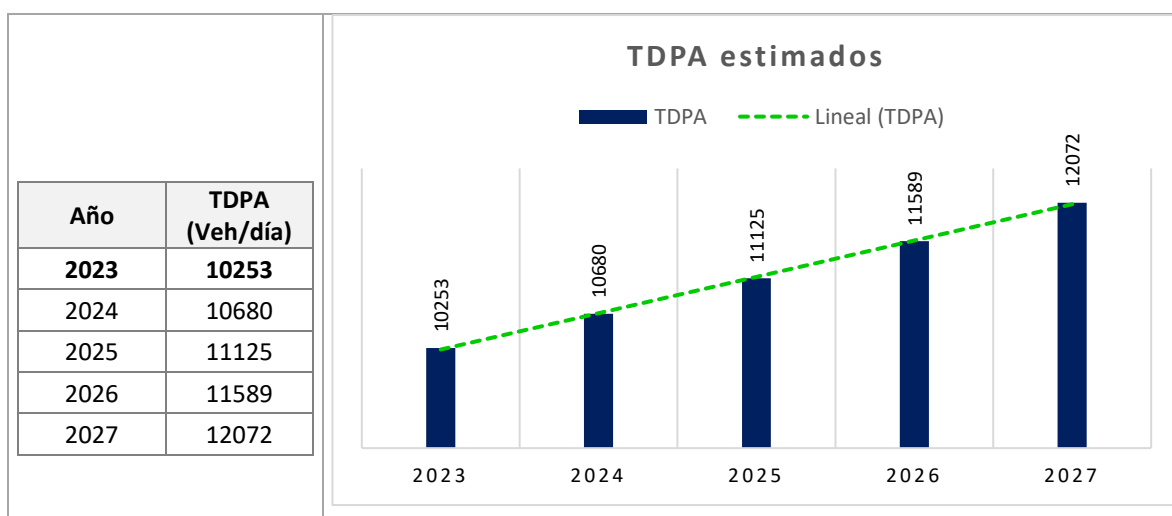
Dado que este valor podría estar influenciado por factores excepcionales o fuera de las tendencias normales de crecimiento, se ha decidido no utilizarla para las proyecciones a largo plazo, con el fin de obtener estimaciones más realistas y representativas del comportamiento vehicular en el tramo en estudio. Debido a esto, se realizó un nuevo análisis para calcular la TC, considerando únicamente los datos de los años 2013 a 2023, para obtener una estimación más precisa. Este análisis arrojó una TC de 4.17% (tabla 100).

Tabla 100. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Toluca - Morelia, ubicada en el km 238+600.

Año _i =	2023
Año ₀ =	2014
TDPA _i =	14955
TDPA ₀ =	10356
n =	9
TDPA _i /TDPA ₀ =	1.444
(TDPA _i /TDPA ₀) ^{^(1/n)} =	1.042
(((TDPA _i /TDPA ₀) ^{^(1/n)})-1)*100=	4.168
(%) TC =	4.17

Con el TDPA₂₀₂₃ de 10,253 vehículos/día y la TC de 4.17% se estimaron los valores de TDPA para los años mostrados en la tabla 101.

Tabla 101. TDPA estimados. Ramal Camelinas. Estación 1: km 4+700



A continuación, en la tabla 102, se presentan los resultados de la composición vehicular obtenidos de los volúmenes de tránsito medidos durante una semana en la estación 1.

Tabla 102. Composición vehicular. Ramal Camelinas. Estación 1

Composición Vehicular (%)						
Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones		
A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
95.57%	0.15%	1.73%	2.30%	0.08%	0.09%	0.08%

3. Zacapu - Villachuato

Para estimar los TDPA futuros, así como la tasa de crecimiento (TC) y la composición vehicular, se utilizaron los datos de aforo de las estaciones de conteo ubicadas en la carretera Zacapu - Villachuato (ver tabla 103).

Tabla 103. Datos viales de estaciones que forman parte de la carretera Zacapu - Villachuato.

Estaciones	Estaciones, Zacapu - Villachuato, Datos Viales DGST											
	Zacapu km 0+000						Panindícuaro km 21+000			T. C. Cuitzeo - Zináparo km 43+000		
Año	TE	SC	TDPA _{SC-1}	SC	TDPA _{SC-2}	TDPA	TE	SC	TDPA	TE	SC	TDPA
2012	3	0	-	0	-	7,902	3	0	2,807	1	0	1,135
2013	3	1	4,797	2	4,429	9,226	3	0	2,815	1	0	1,103
2014	3	1	4,354	2	4,288	8,642	3	0	2,763	1	0	1,131
2015	3	1	4,380	2	4,610	8,990	3	0	2,855	1	0	1,266
2016	3	1	4,551	2	4,777	9,328	3	0	3,078	1	0	1,481
2017	3	1	4,518	2	4,818	9,336	3	0	3,382	1	0	1,426
2018	3	1	5,029	2	5,333	10,362	3	0	3,465	1	0	1,399
2019	3	1	5,256	2	5,479	10,735	3	0	3,687	1	0	1,477
2020	3	1	3,874	2	3,694	7,568	3	0	3,215	1	0	1,435
2021	3	1	5,243	2	5,355	10,598	3	0	3,641	1	0	1,458
2022	3	1	5,496	2	5,453	10,949	3	0	4,183	1	0	1,633
2023	3	1	5,685	2	5,723	11,408	3	0	4,317	1	0	1,669

Para estimar el TDPA y la tasa de crecimiento, se realizó un promedio ponderado de los datos históricos de los TDPA, con el fin de obtener un valor representativo del tráfico a lo largo de todo el tramo en estudio. Los resultados de este promedio ponderado se presentan en la tabla 104.

Utilizando los datos de la tabla 104, se realizó un análisis de regresión lineal simple (ilustración 74), excluyendo el año atípico de 2020. Como resultado, se obtuvo un TDPA proyectado para el año 2024 de 5,900 vehículos/día. A partir de este valor y tomando como referencia el año 2021 como año base, se calculó una tasa de crecimiento vehicular del 4.09%.

Tabla 104. TDPA promedio de las estaciones de conteo de la carretera Zacapu – Villachuato.

Año	TDPA _{PROM}
2012	3,948
2013	4,381
2014	4,179
2015	4,370
2016	4,629
2017	4,715
2018	5,075
2019	5,300
2020	4,073
2021	5,232
2022	5,588
2023	5,798

$$y = 158.97 (2024) - 315855 = TDPA_{2024} = 5,900 \text{ veh/día}$$

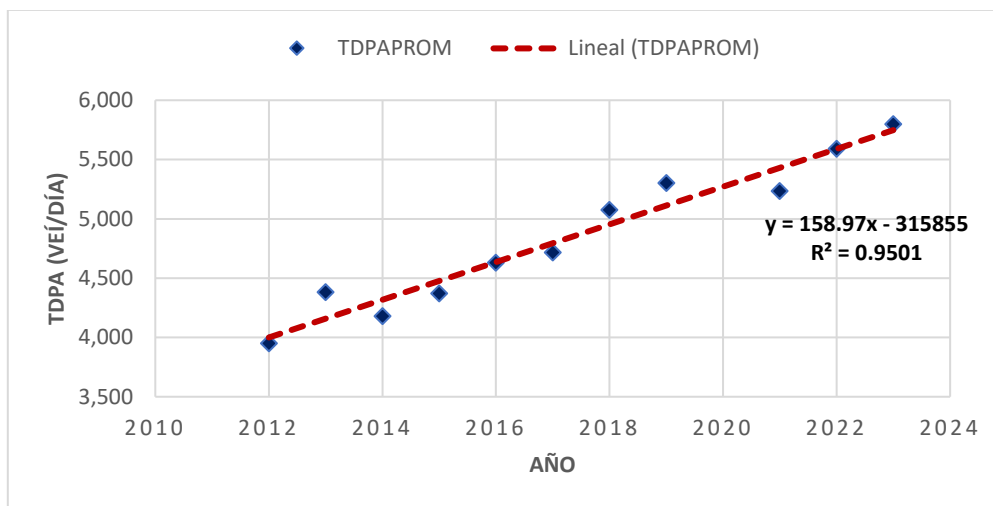


Ilustración 74. RLS con datos de TDPA promedio de las estaciones de conteo de la carretera Zacapu – Villachuato.

Con el TDPA₂₀₂₄ de 5,900 vehículos/día y la TC de 4.09% se estimaron los valores de TDPA para los años mostrados en la tabla 105.

En la tabla 106 se presentan los resultados de la composición vehicular obtenidos de las estaciones de conteo de la carretera Zacapu - Villachuato. La composición vehicular se determinó generando un promedio de las estaciones de conteo, tomando los datos de aforo correspondientes al año 2023 como base para este cálculo.

Tabla 105. TDPA estimados con datos viales para tramo carretero de Zacapu - Villachuato.

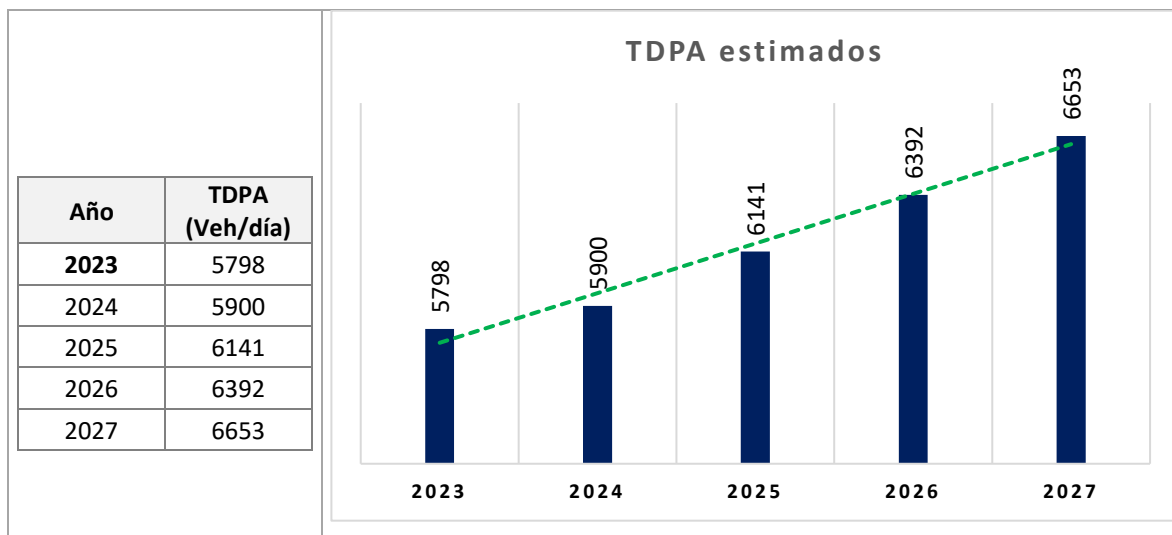


Tabla 106. Composición vehicular. Zacapu – Villachuato.

Estación	(%) Composición Vehicular						
	Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones		
	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
Zacapu km 0+000 (SC:1)	92.90%	1.40%	3.50%	1.00%	0.80%	0.10%	0.30%
Zacapu km 0+000 (SC:2)	92.80%	1.50%	3.20%	1.10%	0.90%	0.20%	0.30%
T. Der. Villa Jiménez Norte km 18	90.10%	1.40%	3.50%	1.70%	1.90%	0.50%	0.90%
Panindícuaro km 21	81.60%	1.00%	11.30%	1.40%	3.20%	0.80%	0.70%
T. C. Cuitzeo - Zináparo km 43	72.40%	3.80%	13.70%	4.80%	3.50%	0.90%	0.90%
Promedio Ponderado =	85.96%	1.82%	7.04%	2.00%	2.06%	0.50%	0.62%

4. Puruándiro - Pastor Ortiz

En la tabla 107, se muestran los volúmenes de tránsito medidos durante una semana y el cálculo del TDPA mínimo y máximo, aplicando las fórmulas correspondientes. Se seleccionó el TDPA máximo para garantizar mayor precisión en la evaluación a realizar.

Para calcular la tasa de crecimiento vehicular (TC), se utilizaron los datos de aforo de la estación de conteo ubicada en el municipio de Puruándiro, en el km 61+000 de la carretera Cuitzeo - Zináparo. (tabla 108). La estación de conteo tiene las siguientes características: TE= 1 y SC= 0.

Tabla 107. Análisis TDPA, Puruándiro - Pastor Ortiz, Estación 1: km 4+000.

Día	Tránsito Diario (TDi)	Tránsito Diario Promedio Semanal (TDPS)	(E) Error estándar de la media			
			TDi - TDPS	(TDi-TDPS) ² / (n-1)	S	E
Lunes	1,529	1,458	71	840	107	40
Martes	1,560		102	1,734		
Miércoles	1,354		-104	1,803		
Jueves	1,508		50	417		
Viernes	1,464		6	6		
Sábado	1,522		64	683		
Domingo	1,269		-189	5,954		
Total=	10,206					

TDPA_{máximo} = 1,537 vehículos mixtos / día

TDPA_{mínimo} = 1,379 vehículos mixtos / día

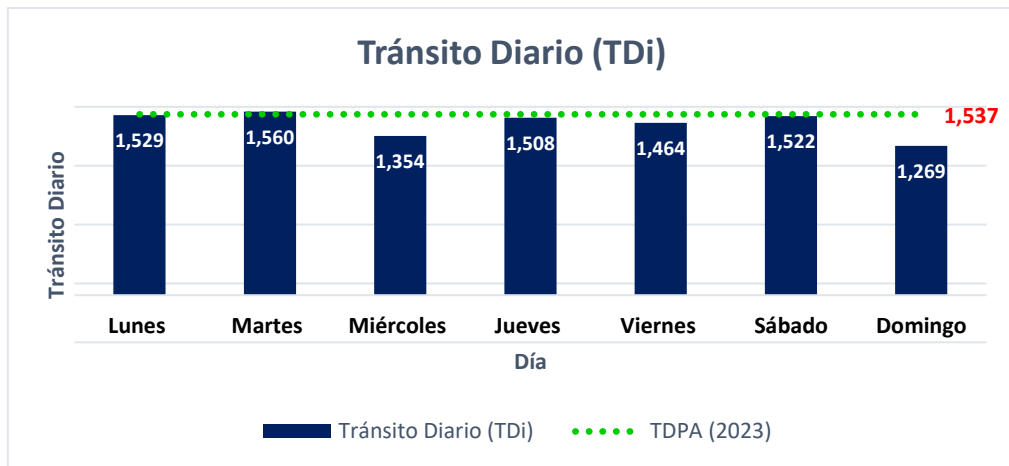


Ilustración 75. Gráfica de aforo semanal realizado. Puruándiro - Pastor Ortiz, Estación 1: km 4+000.

Tabla 108 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Cuitzeo - Zináparo, ubicada en el km 61+000.

Año Base	TDPA
2012	4759
2013	4763
2014	4902
2015	5079
2016	4863
2017	5662
2018	5856
2019	6535
2020	5720
2021	5744
2022	5850
2023	5826

Utilizando los datos de la tabla 108, se realizó un análisis de regresión lineal simple (ilustración 76), donde se obtuvo un TDPA proyectado para el año 2024 de 6,285 vehículos/día. Con base en este valor y tomando el año 2023 como año base, se calculó una tasa de crecimiento del 7.87%.

$$y = 125.28 (2024) - 247282 = TDPA_{2024} = 6,285 \text{ veh/día}$$

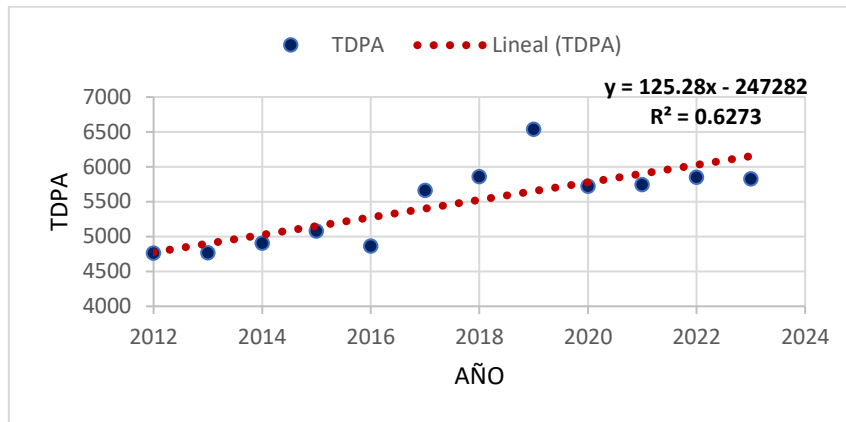


Ilustración 76. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Cuitzeo - Zináparo, ubicada en el km 61+000.

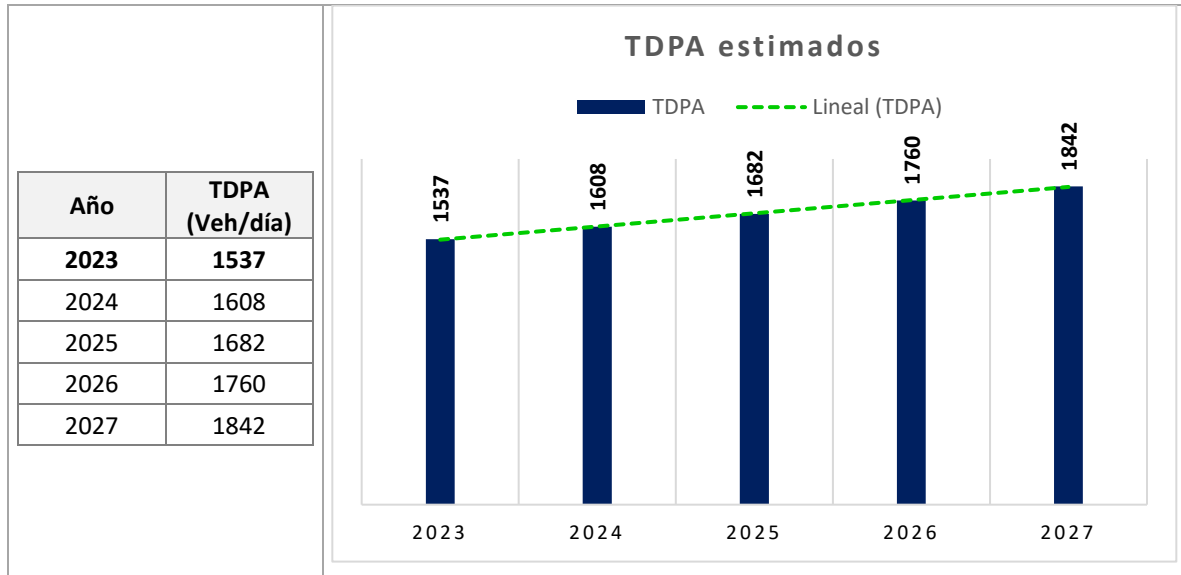
Sin embargo, una tasa de crecimiento vehicular del 7.87% se considera alta, lo que sugiere un aumento inusual en el tránsito. Este valor podría estar influenciado por factores atípicos, por lo que se decidió no usarlo en proyecciones a largo plazo para obtener estimaciones más realistas y representativas del comportamiento vehicular del tramo en estudio. Debido a esto, se realizó un nuevo análisis para calcular la TC, considerando únicamente los datos de los años 2012 a 2019, para obtener una estimación más precisa. Este análisis arrojó una TC de 4.63% (tabla 109).

Tabla 109. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Cuitzeo - Zináparo, ubicada en el km 61+000.

Año _i =	2019
Año ₀ =	2012
TDPA _i =	6535
TDPA ₀ =	4759
n =	7
TDPA _i /TDPA ₀ =	1.373
(TDPA _i /TDPA ₀) ^(1/n) =	1.046
(((TDPA _i /TDPA ₀) ^(1/n) -1)*100=	4.635
(%) TC =	4.63

Con el TDPA₂₀₂₃ de 1,537 vehículos/día y la TC de 4.63% se estimaron los valores de TDPA para los años mostrados en la tabla 110.

Tabla 110. TDPA estimados. Puruándiro - Pastor Ortiz, Estación 1: km 4+000.



A continuación, en la tabla 111, se presentan los resultados de la composición vehicular obtenidos de los volúmenes de tránsito medidos durante una semana en la estación 1.

Tabla 111. Composición vehicular. Puruándiro - Pastor Ortiz, Estación 1.

Composición Vehicular (%)						
Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones		
A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
97.67%	1.10%	0.48%	0.75%	0.00%	0.00%	0.00%

5. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes

En la tabla 112, se muestran los volúmenes de tránsito medidos durante una semana y el cálculo del TDPA mínimo y máximo, aplicando las fórmulas correspondientes. Se seleccionó el TDPA máximo para garantizar mayor precisión en la evaluación a realizar.

Para calcular la tasa de crecimiento vehicular (TC), se utilizaron los datos de aforo de la estación de conteo ubicada en el municipio de Erongarícuaro, en el km 17+000

de la carretera Pátzcuaro - Chupícuaro (tabla 113). La estación de conteo tiene las siguientes características: TE= 1 y SC= 0.

Tabla 112. Análisis TDPA, Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes, Estación 1: km 11+000.

Día	Tránsito Diario (TDi)	Tránsito Diario Promedio Semanal (TDPS)	(E) Error estándar de la media			
			TDi - TDPS	(TDi-TDPS) ² / (n-1)	S	E
Lunes	950	783	167	4,656	175	65
Martes	816		33	183		
Miércoles	854		71	844		
Jueves	681		-102	1,729		
Viernes	854		71	844		
Sábado	434		-349	20,284		
Domingo	891		108	1,949		
Total=	5,480					

$TDPA_{\text{máximo}} = 911$ vehículos mixtos / día

$TDPA_{\text{mínimo}} = 655$ vehículos mixtos / día

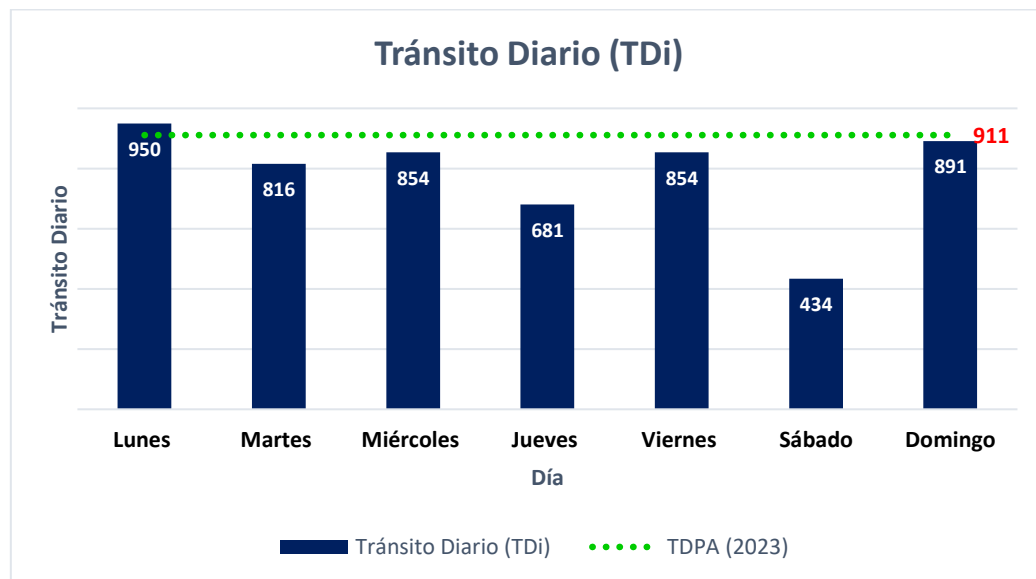


Ilustración 77. Gráfica de aforo semanal realizado. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes, Estación 1: km 11+000.

Utilizando los datos de la tabla 113, se realizó un análisis de regresión lineal simple (ilustración 78), donde se obtuvo un TDPA proyectado para el año 2024 de 5,198 vehículos/día. Con base en este valor y tomando el año 2023 como año base, se calculó una tasa de crecimiento negativa de -0.59%.

Tabla 113 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Pátzcuaro - Chupícuaro, ubicada en el km 17+000.

Año Base	TDPA
2012	3058
2013	2966
2014	2861
2015	3042
2016	2993
2017	3419
2018	3973
2019	4293
2020	4177
2021	4404
2022	4956
2023	5229

$$y = 219.3 (2024) - 438665 = TDPA_{2024} = 6,285 \text{ veh/día}$$

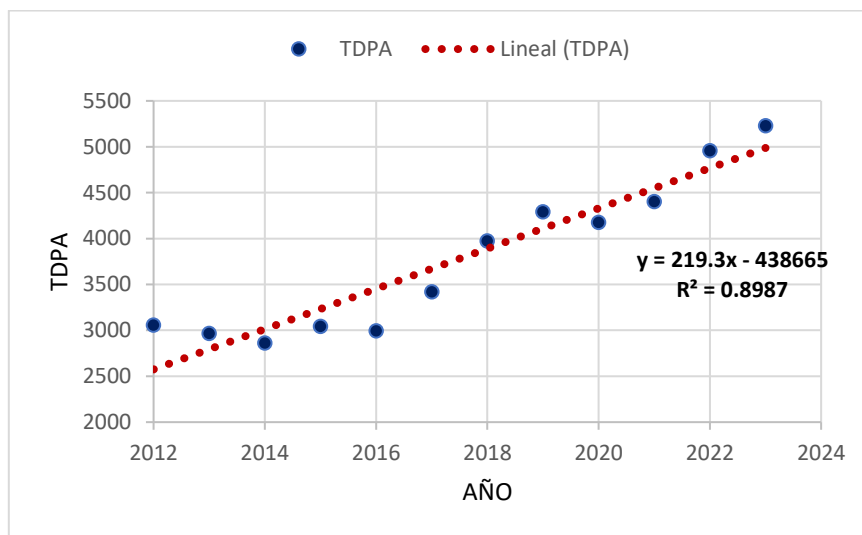


Ilustración 78. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Pátzcuaro - Chupícuaro, ubicada en el km 17+000.

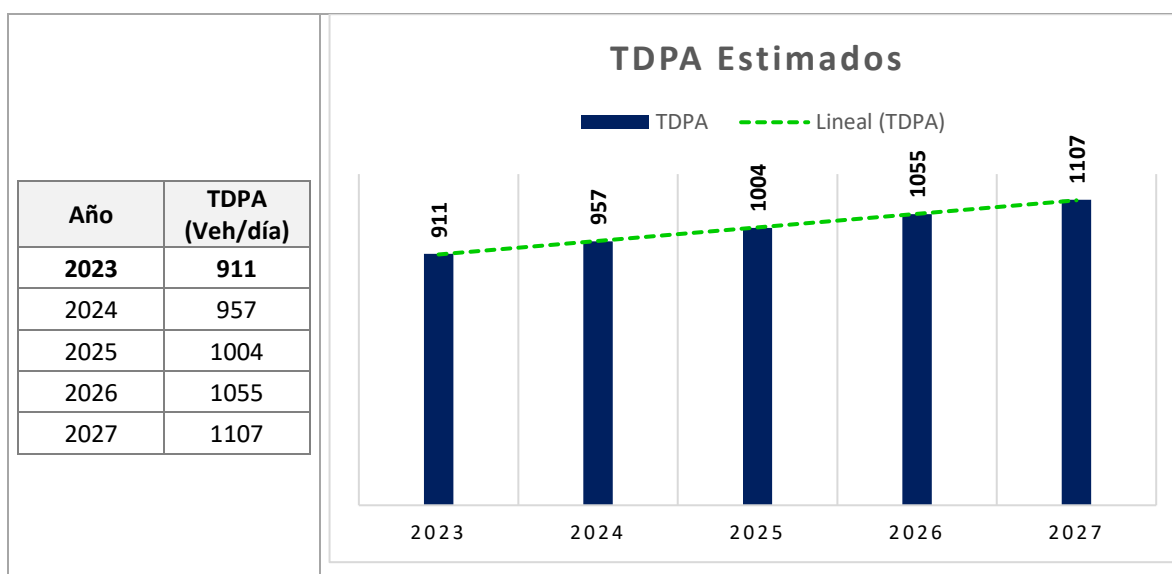
Sin embargo, para la estimación del tránsito futuro no es posible proyectar con tasas de crecimiento negativas, por lo que se considera que la tasa negativa de -0.59% no es factible. Debido a esto, se realizó un nuevo análisis para calcular la TC, tomando en cuenta los datos históricos de TDPA de los años 2012 a 2023, los cuales muestran una tendencia de crecimiento. Este análisis arrojó una tasa de crecimiento del 5.00% (tabla 114), proporcionando una estimación más precisa.

Tabla 114. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Pátzcuaro - Chupícuaro, ubicada en el km 17+000.

Año _i =	2023
Año ₀ =	2012
TDPA _i =	5229
TDPA ₀ =	3058
n =	11
TDPA _i /TDPA ₀ =	1.710
(TDPA _i /TDPA ₀) ^{^(1/n)} =	1.050
(((TDPA _i /TDPA ₀) ^{^(1/n)})-1)*100=	4.998
(%) TC =	5.00

Con el TDPA₂₀₂₃ de 911 vehículos/día y la TC de 5.00% se estimaron los valores de TDPA para los años mostrados en la tabla 115.

Tabla 115. TDPA estimados. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes, Estación 1: km 11+000.



A continuación, en la tabla 116, se presentan los resultados de la composición vehicular obtenidos de los volúmenes de tránsito medidos durante una semana en la estación 1.

Tabla 116. Composición vehicular. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes, Estación 1: km 11+000.

Composición Vehicular (%)						
Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones		
A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
92.88%	0.13%	3.81%	3.18%	0.00%	0.00%	0.00%

- **Análisis de tránsito - Grupo 5B**

6. E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta

En la tabla 117, se muestran los volúmenes de tránsito medidos durante una semana y el cálculo del TDPA mínimo y máximo, aplicando las fórmulas correspondientes. Se seleccionó el TDPA máximo para garantizar mayor precisión en la evaluación a realizar.

Tabla 117. Análisis TDPA, E.C. (Morelia - Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta, Estación 1: km 9+000.

Día	Tránsito Diario (TDi)	Tránsito Diario Promedio Semanal (TDPS)	(E) Error estándar de la media			
			TDi - TDPS	(TDi-TDPS) ² / (n-1)	S	E
Lunes 6	2,513	2,281	232	9,004	480	180
Martes 7	2,534		253	10,704		
Miércoles 8	2,529		248	10,286		
Jueves 9	2,604		323	17,434		
Viernes 10	2,450		169	4,784		
Sábado 11	2,066		-215	7,673		
Domingo 12	1,268		-1,013	170,883		
Total=	15,964					

TDPA_{máximo} = **2,634 vehículos mixtos / día**

TDPA_{mínimo} = 1,928 vehículos mixtos / día

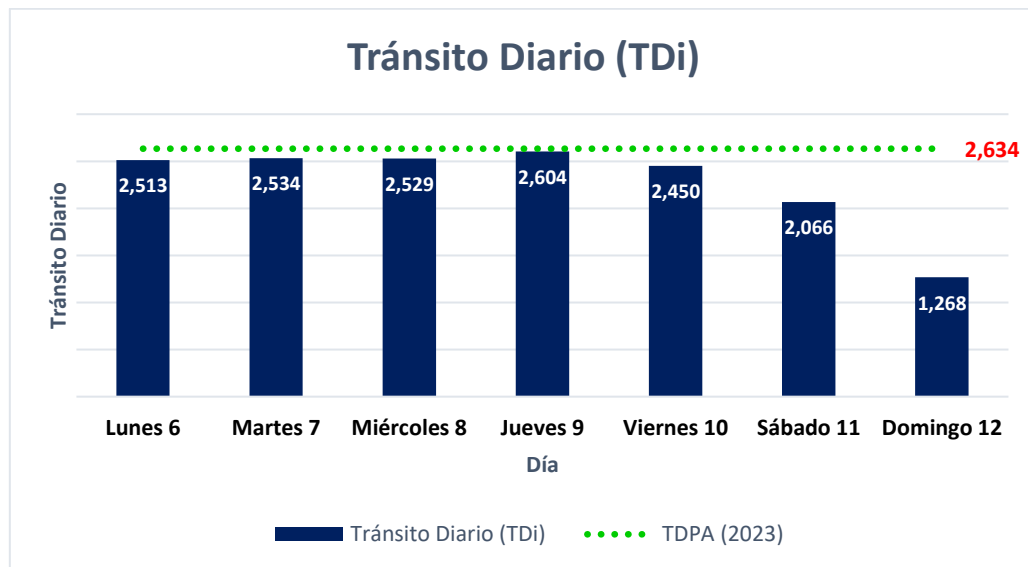


Ilustración 79. Gráfica de aforo semanal realizado. E.C. (Morelia - Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta, Estación 1: km 9+000.

Para calcular la tasa de crecimiento vehicular (TC), se utilizaron los datos de aforo de la estación de conteo ubicada en Xangari, en la ciudad de Morelia, en el km 3+000 de la carretera Morelia - Pátzcuaro (tabla 118). La estación de conteo tiene las siguientes características: TE= 3 y SC= 2.

Tabla 118 Datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia - Pátzcuaro, ubicada en el km 3+000.

Año Base	TDPA
2012	19943
2013	19215
2014	19485
2015	22294
2016	16918
2017	17299
2018	17618
2019	19990
2020	15070
2021	18249
2022	19167
2023	19303

Utilizando los datos de la tabla 118, se realizó un análisis de regresión lineal simple (ilustración 80), donde se obtuvo un TDPA proyectado para el año 2024 de 17,746 vehículos/día. Con base en este valor y tomando el año 2023 como año base, se calculó una tasa de crecimiento del -8.07%.

$$y = -149.33 (2024) + 319990 = TDPA_{2024} = 17,746 \text{ veh/día}$$

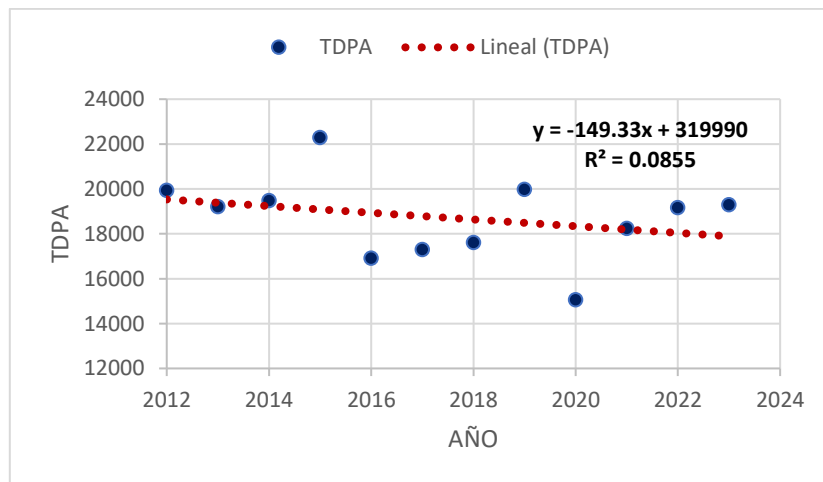


Ilustración 80. RLS con datos históricos de TDPA de la estación de conteo de la carretera Morelia - Pátzcuaro, ubicada en el km 3+000.

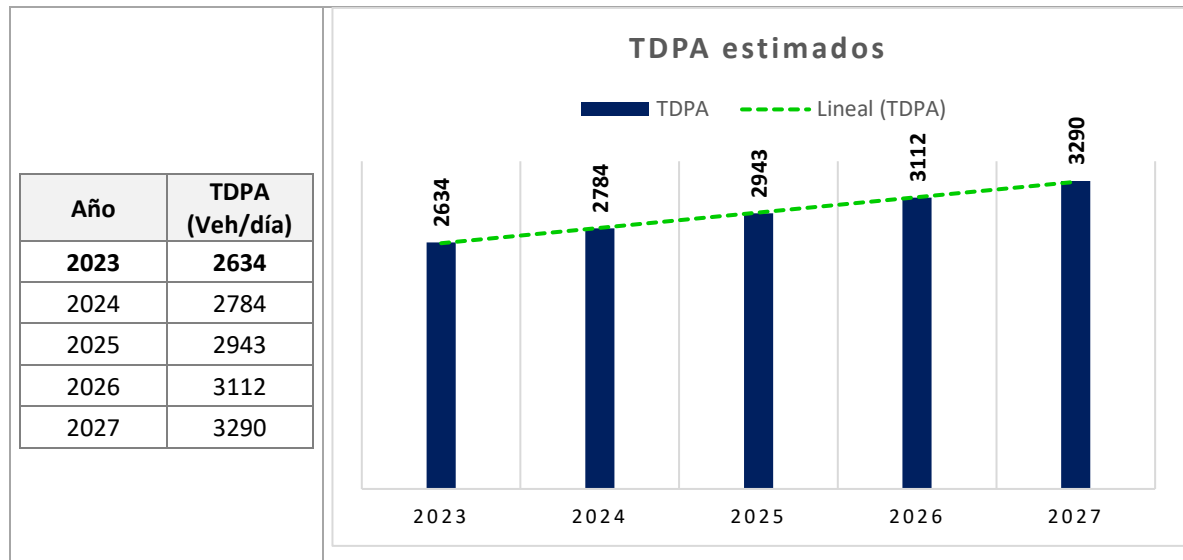
Sin embargo, para la estimación del tránsito futuro no es posible proyectar con tasas de crecimiento negativas, por lo que se considera que la tasa negativa de -8.07% no es factible. Debido a esto, se realizó un nuevo análisis para calcular la TC, tomando en cuenta los datos históricos de TDPA de los años 2016 a 2019, los cuales muestran una tendencia de crecimiento. Este análisis arrojó una tasa de crecimiento del 5.72% (tabla 119), proporcionando una estimación más precisa.

Tabla 119. Análisis de TC. Estación de conteo de la carretera Toluca - Morelia, ubicada en el km 238+600.

Año _i =	2019
Año ₀ =	2016
TDPA _i =	19990
TDPA ₀ =	16918
n =	3
TDPA _i /TDPA ₀ =	1.182
(TDPA _i /TDPA ₀) ^(1/n) =	1.057
(((TDPA _i /TDPA ₀) ^(1/n) -1)*100=	5.719
(%) TC =	5.72

Con el TDPA₂₀₂₃ de 2,634 vehículos/día y la TC de 5.72% se estimaron los valores de TDPA para los años mostrados en la tabla 120.

Tabla 120. TDPA estimados. Ramal Camelinas. Estación 1: km 4+700



A continuación, en la tabla 121, se presentan los resultados de la composición vehicular obtenidos de los volúmenes de tránsito medidos durante una semana en la estación 1.

Tabla 121. Composición vehicular. E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.

Composición Vehicular (%)						
Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones		
A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
95.09%	0.24%	1.78%	2.20%	0.08%	0.39%	0.23%

7. Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo

Para estimar los TDPA futuros, así como la tasa de crecimiento (TC) y la composición vehicular, se utilizaron los datos de aforo de las estaciones de conteo ubicadas en la carretera Cuitzeo - Zináparo (ver tabla 122).

Tabla 122. Datos viales de estaciones que forman parte de la carretera Cuitzeo – Zináparo.

Estaciones, Carretera Cuitzeo – Zináparo, Datos Viales DGST															
Año	Cuitzeo km 0+000			Puruándiro km 61+000						E. T. Izq. Zacapu km 79+000			Zináparo km 123+700		
	TE	SC	TDPA	TE	SC	TDPA	TE	SC	TDPA	TE	SC	TDPA	TE	SC	TDPA
2012	3	0	2,937	1	0	4,759	3	0	4,170	3	0	2,013	1	0	2,307
2013	3	1y2	3,092	1	0	4,763	3	0	4,305	3	0	2,025	1	0	2,538
2014	3	1y2	2,776	1	0	4,902	3	0	4,260	3	0	2,074	1	0	2,700
2015	3	1y2	2,894	1	0	5,079	3	0	4,227	3	0	2,156	1	0	2,388
2016	3	1y2	2,944	1	0	4,863	3	0	4,899	3	0	2,083	1	0	2,707
2017	3	1y2	2,981	1	0	5,662	3	0	5,269	3	0	1,986	1	0	2,464
2018	3	1y2	3,060	1	0	5,856	3	0	5,465	3	0	2,169	1	0	2,200
2019	3	1y2	3,130	1	0	6,535	3	0	6,020	3	0	2,171	1	0	2,257
2020	3	1y2	2,301	1	0	5,720	3	0	5,918	3	0	2,200	1	0	1,850
2021	3	1y2	2,931	1	0	5,744	3	0	5,980	3	0	2,032	1	0	2,113
2022	3	1y2	2,780	1	0	5,850	3	0	6,103	3	0	2,161	1	0	2,144
2023	3	1y2	2,741	1	0	5,826	3	0	5,594	3	0	2,172	1	0	2,103

Para estimar el TDPA y la tasa de crecimiento, se realizó un promedio ponderado de los datos históricos de los TDPA, con el fin de obtener un valor representativo del tráfico a lo largo de todo el tramo en estudio. Los resultados de este promedio ponderado se presentan en la tabla 123.

Utilizando los datos de la tabla 123, se realizó un análisis de regresión lineal simple (ilustración 81). Como resultado, se obtuvo un TDPA proyectado para el año 2024 de 3,928 vehículos/día. A partir de este valor y tomando como referencia el año 2023 como año base, se calculó una tasa de crecimiento vehicular del 6.53%.

Tabla 123. TDPA promedio de las estaciones de conteo de la carretera Cuitzeo – Zináparo.

Año	TDPA _{PROM}
2012	3,237
2013	3,345
2014	3,342
2015	3,349
2016	3,499
2017	3,672
2018	3,750
2019	4,023
2020	3,598
2021	3,760
2022	3,808
2023	3,687

$$y = 52.213 (2024) - 101751 = TDPA_{2024} = 3,928 \text{ veh/día}$$

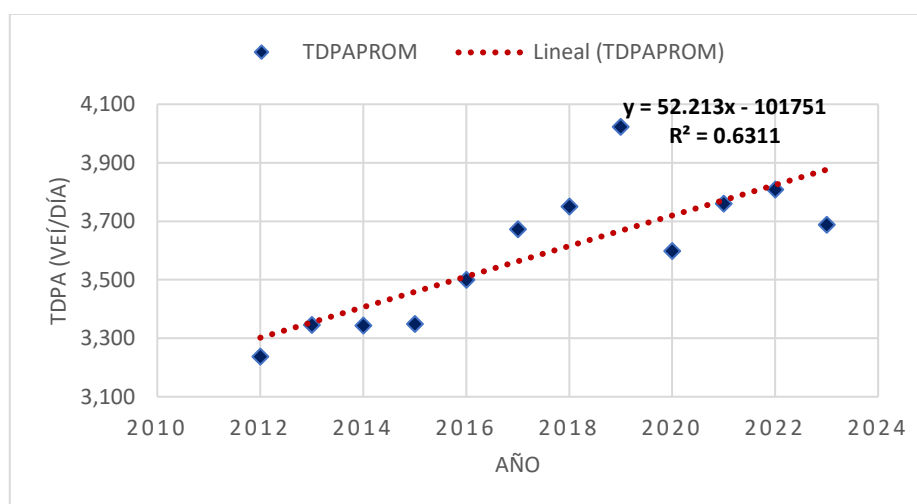


Ilustración 81. RLS con datos de TDPA promedio de las estaciones de conteo de la carretera Cuitzeo – Zináparo.

Con el TDPA₂₀₂₄ de 3,928 vehículos/día y la TC de 6.53% se estimaron los valores de TDPA para los años mostrados en la tabla 124.

En la tabla 125 se presentan los resultados de la composición vehicular obtenidos de las estaciones de conteo de la carretera Cuitzeo – Zináparo. La composición vehicular se determinó generando un promedio de las estaciones de conteo, tomando los datos de aforo correspondientes al año 2023 como base para este cálculo.

Tabla 124. TDPA estimados con datos viales para tramo carretero de Cuitzeo – Zináparo.

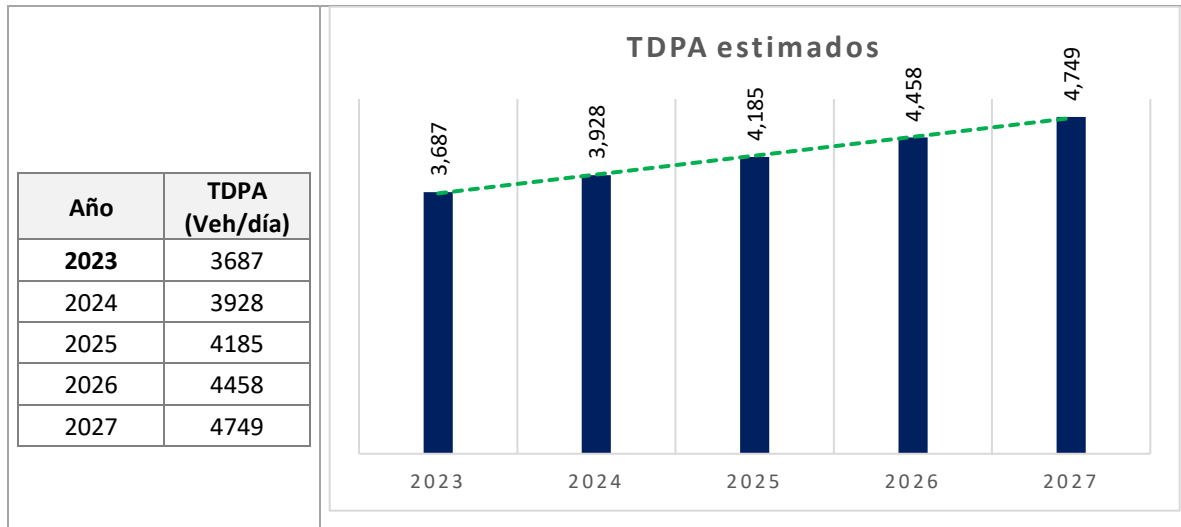


Tabla 125. Composición vehicular. Cuitzeo –Puruándiro - Zináparo.

Estación	(%) Composición Vehicular						
	Autos	Autobuses	Camiones		Tractocamiones		
	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
Cuitzeo km 0+000 (SC:1)	95.1%	0.5%	3.0%	0.7%	0.3%	0.2%	0.2%
Cuitzeo km 0+000 (SC:2)	94.8%	0.5%	3.2%	0.7%	0.3%	0.3%	0.2%
Puruándiro km 61 (TE:1)	95.1%	0.5%	2.5%	0.9%	0.5%	0.2%	0.3%
Puruándiro km 61 (TE:3)	91.6%	0.9%	5.0%	1.4%	0.5%	0.2%	0.4%
T. Izq. Zacapu km 79	83.8%	0.5%	11.3%	2.1%	1.4%	0.6%	0.3%
Zináparo km 123.7	85.7%	1.0%	9.6%	2.0%	1.1%	0.1%	0.5%
Promedio Ponderado =	91.02%	0.65%	5.77%	1.30%	0.68%	0.27%	0.32%

5.1.2 Análisis de deflexiones

En este apartado se analizaron las mediciones de las deflexiones obtenidas de los diferentes tramos en estudio durante la etapa de auscultación, antes de la puesta a punto, con el fin de evaluar la capacidad estructural del pavimento. Este análisis permitió determinar el porcentaje de daños presentes y compararlo con las especificaciones del proyecto y las normativas aplicables. Además, el análisis de deflexiones se complementó con la elaboración de perfiles estratigráficos, realizados a partir de los registros de estratigrafía y la calidad de los materiales evaluados mediante pozos a cielo abierto.

Para este análisis, los términos de referencia utilizan como rangos de especificación los valores normativos indicados en el capítulo 2, “Marco Teórico,” en la ilustración 6, “Rangos representativos de deflexiones”.

La tabla 126 y la ilustración 82 se presenta un resumen general de la condición estructural de los siete tramos en estudio.

Tabla 126. Condición Estructural de los tramos evaluados.

Grupo	Tramo	Condición Estructural (%)		
		Bueno	Regular	Malo
5A	Circuito Periférico de Morelia	53%	34%	13%
5A	Ramal Camelinas	70%	30%	0%
5A	Zacapu - Villachuato	18%	35%	47%
5A	Puruándiro - Pastor Ortiz	4%	3%	93%
5A	Erongarícuaro - La Zaramora - Franco Reyes	5%	5%	90%
5B	E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta	0%	18%	82%
5B	Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo	0%	26%	74%

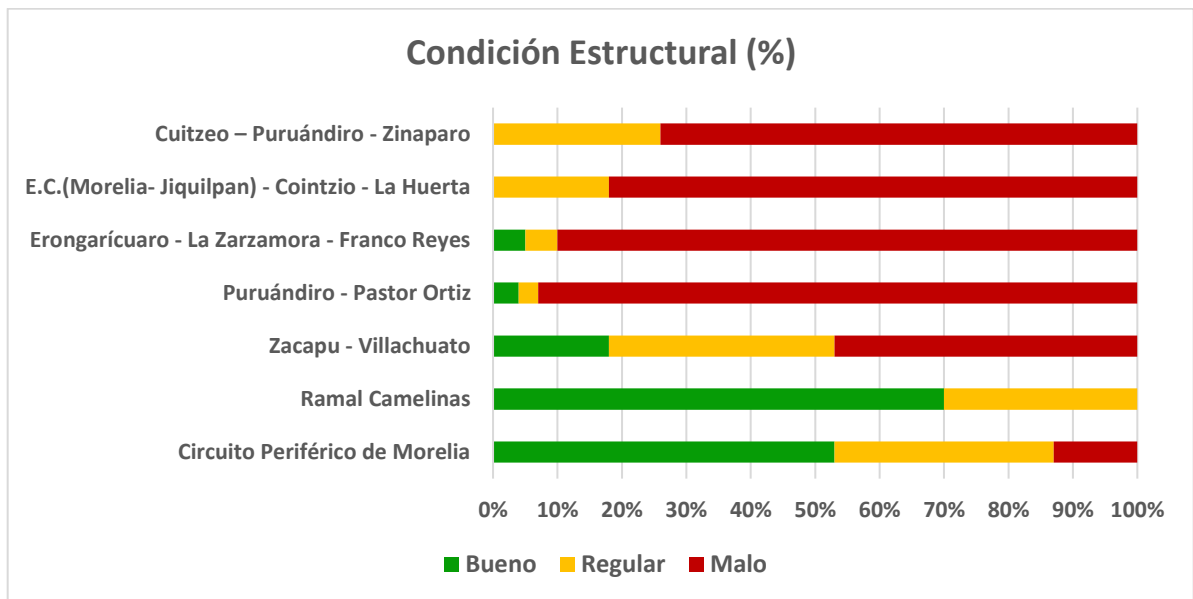


Ilustración 82. Representación gráfica de la condición estructural que presentan los tramos en estudio.

A continuación, se presenta el análisis individual de cada tramo, acompañado de las gráficas que muestran sus condiciones. Se recopiló información para elaborar perfiles estratigráficos de 5 de los 7 tramos en estudio, que complementará las gráficas de cada uno.

- **Análisis de deflexiones - Grupo 5A**

1. Circuito Periférico de Morelia

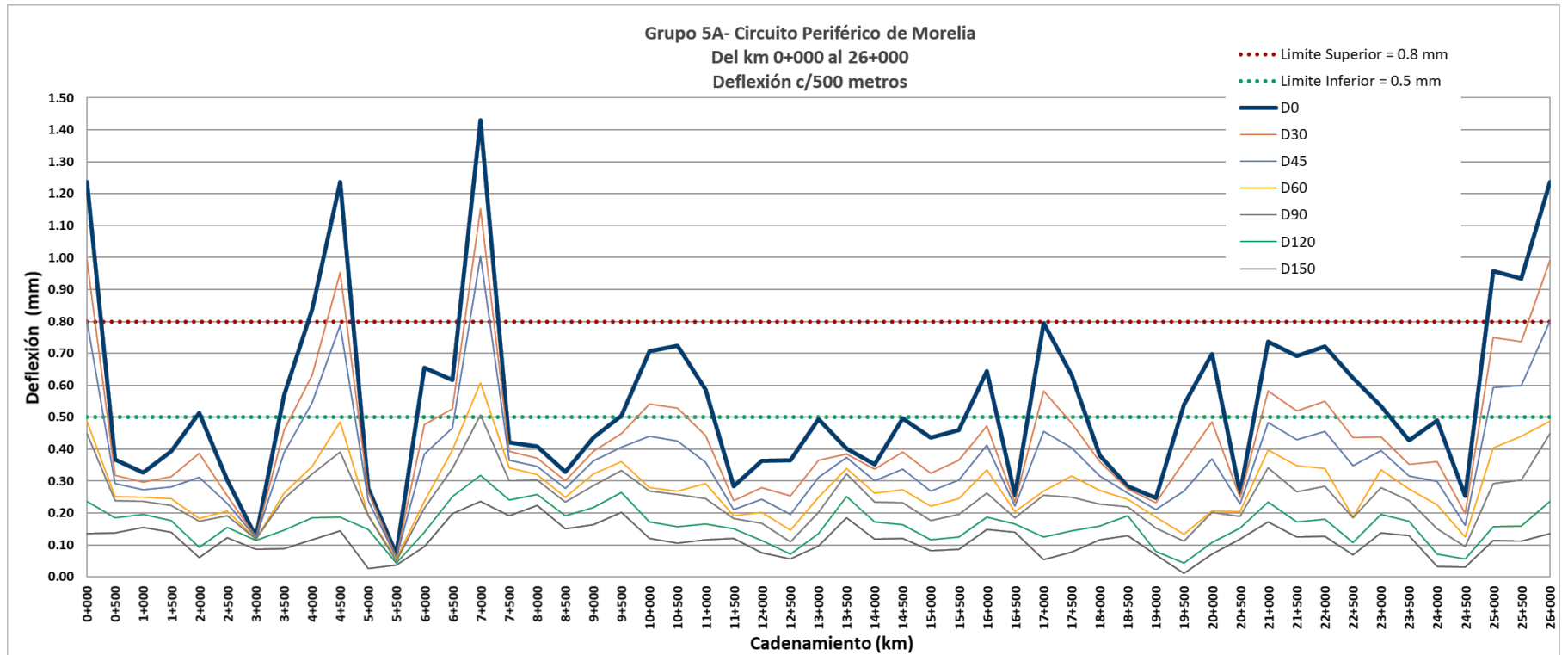


Ilustración 83. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Circuito Periférico de Morelia.

Este tramo carretero muestra, en general, una condición estructural "buena" a "regular", con deflexiones bajas en la mayoría de los puntos. Aunque no se cuenta con información para elaborar un perfil estratigráfico del pavimento, las mediciones proporcionan una visión general del activo vial.

2. Ramal Camelinas

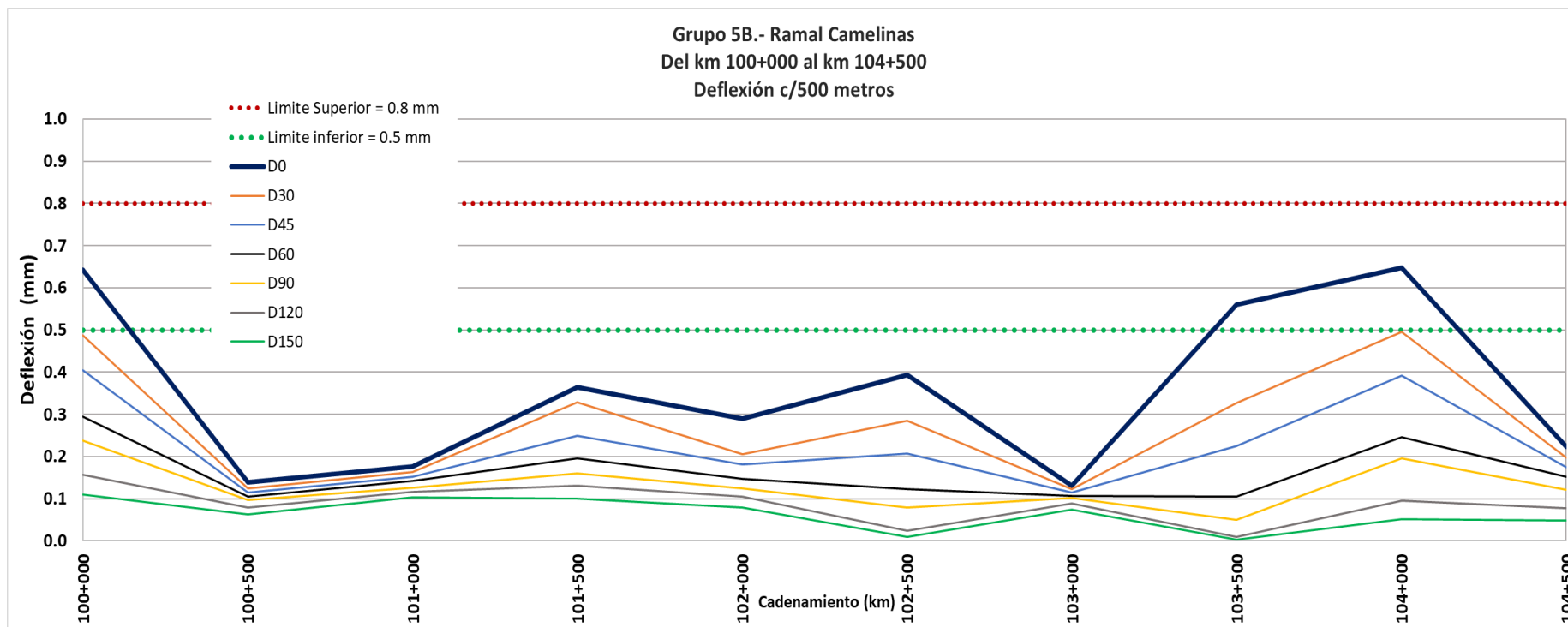


Ilustración 84. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Ramal Camelinas.

Este tramo carretero muestra, en general, una condición estructural "buena", con deflexiones bajas en la mayoría de los puntos. Aunque no se cuenta con un perfil estratigráfico del pavimento, las mediciones actuales proporcionan una visión general que respalda la estabilidad de este activo vial.

3. Zacapu - Villachuato

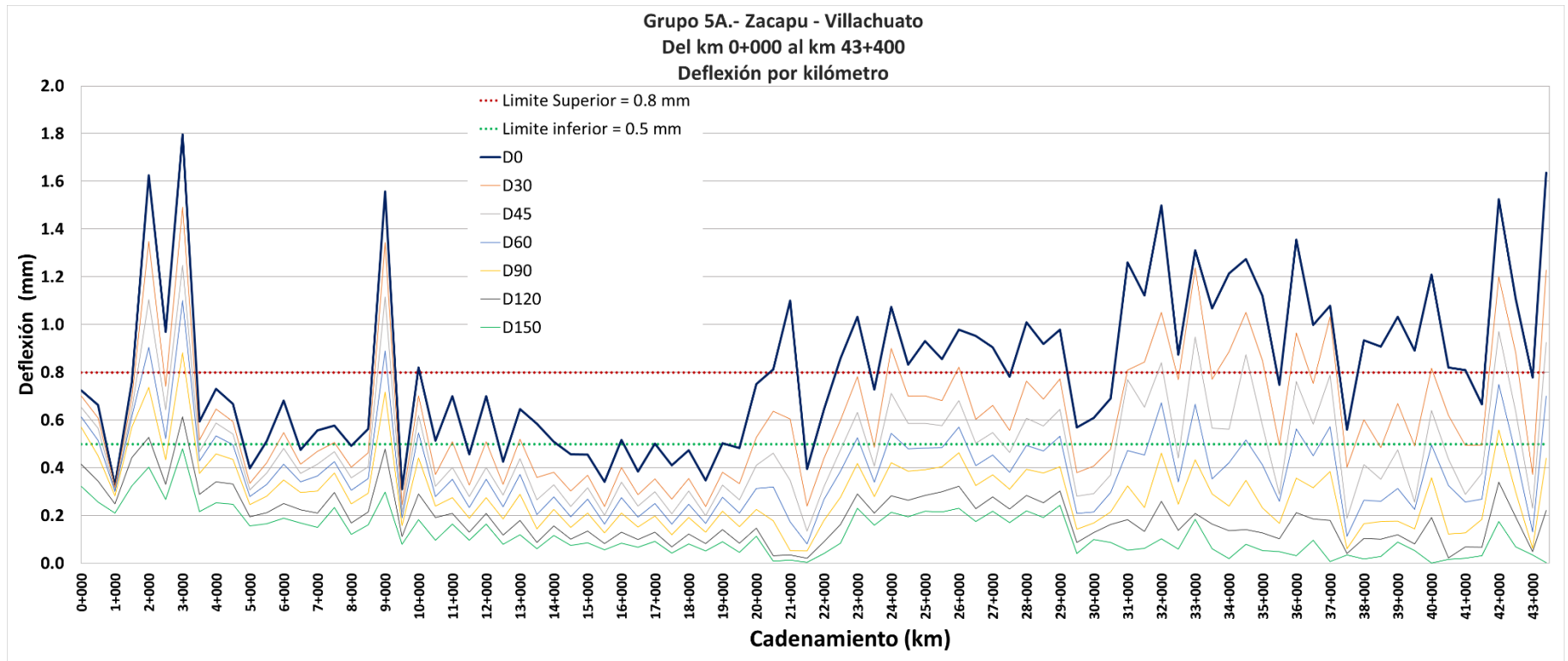


Ilustración 85. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Zacapu - Villachuato.

Este tramo carretero muestra, en general, una condición estructural "mala" a "regular", con deflexiones altas en la mayoría de los puntos. A continuación, se presenta el perfil estratigráfico del pavimento, con el cual se espera tener una visión más completa y general del activo vial (ilustración 86).

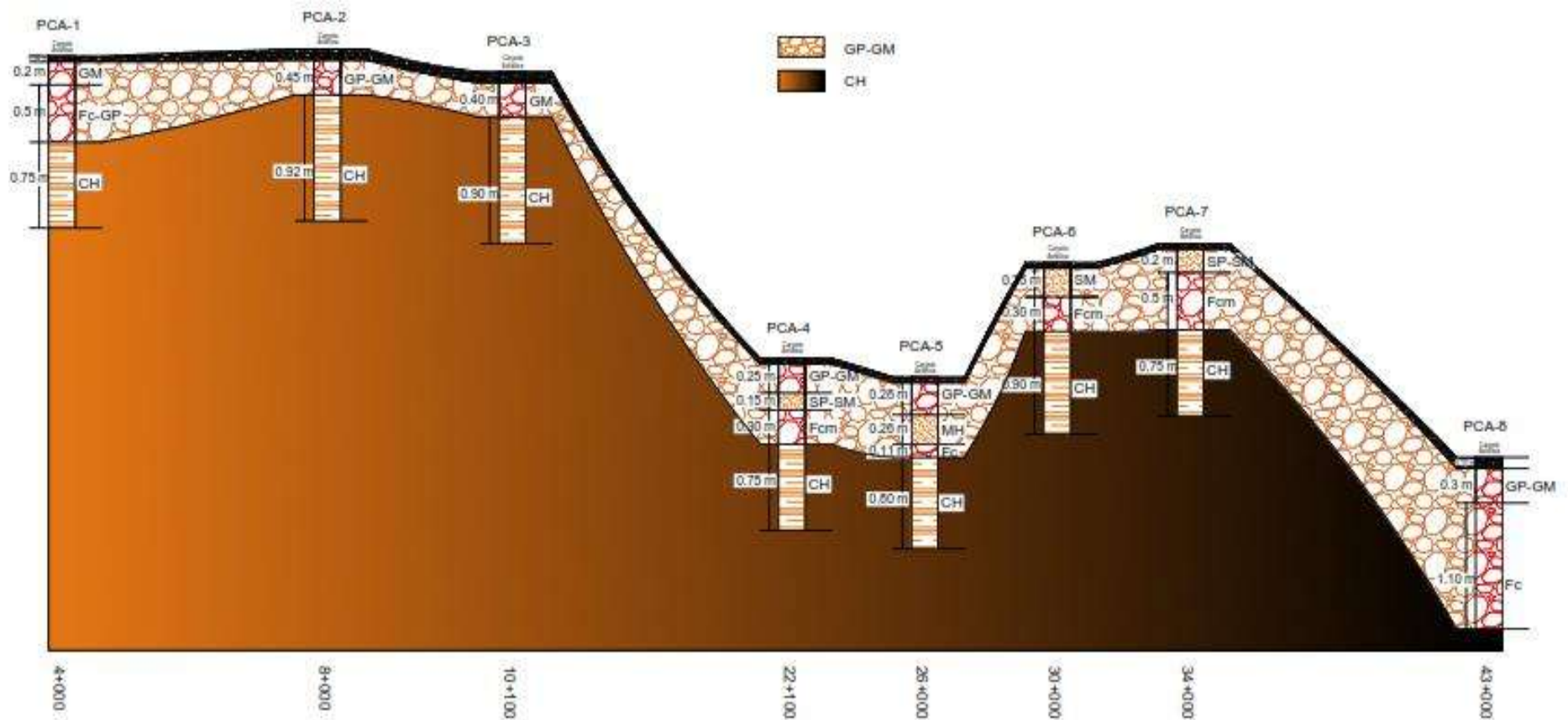


Ilustración 86. Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento, Zacapu – Villachuato.

La ilustración 86 muestra el perfil estratigráfico de la estructura del pavimento en el tramo Zacapu – Villachuato. Se observa una carpeta asfáltica de 5 cm, que se encuentra sobre una base hidráulica compuesta de gravas limosas (GM) y, en algunos casos, arenas limosas (SM) y fragmentos de roca medianos (Frm). Esta estructura se desplanta sobre un suelo arcilloso de alta plasticidad (CH).

4. Puruándiro - Pastor Ortiz

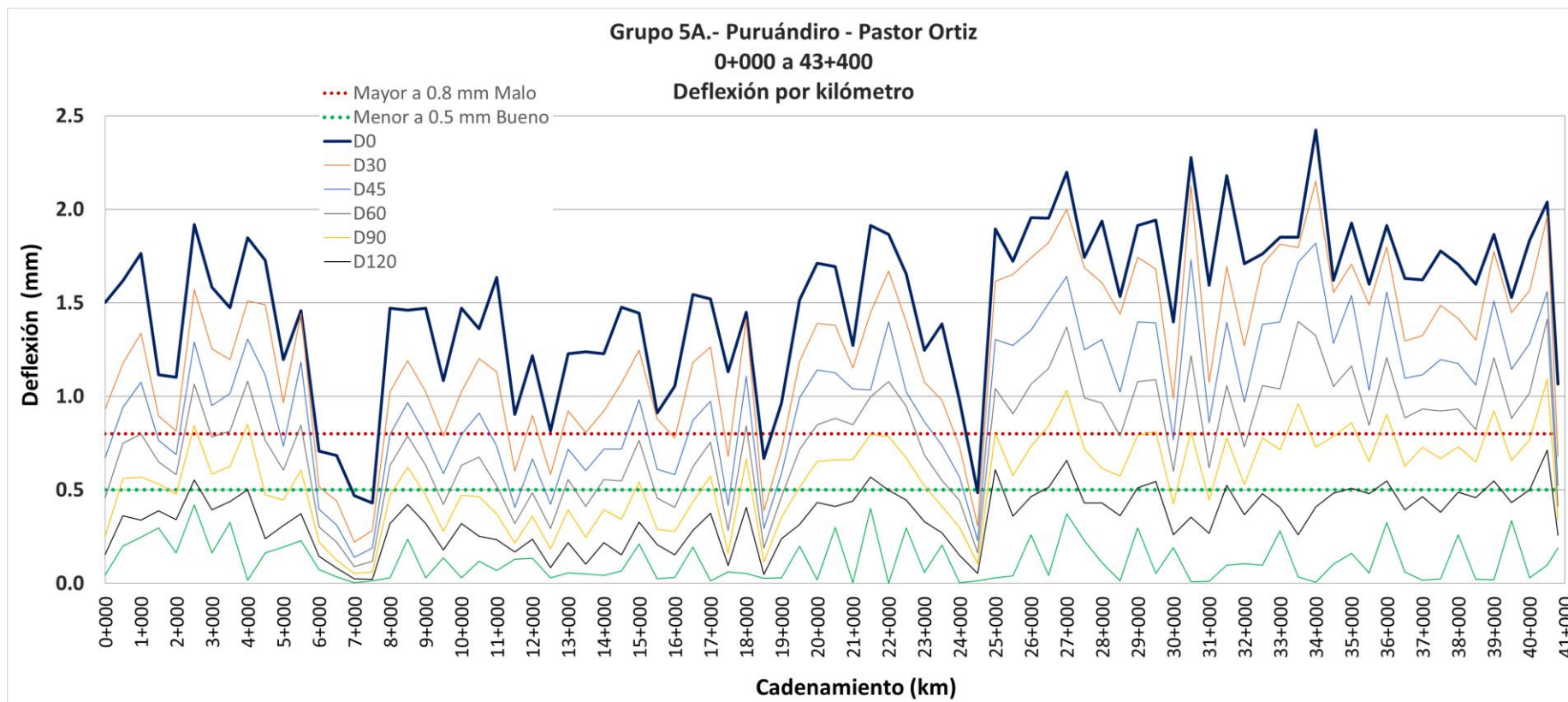


Ilustración 87. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Puruándiro - Pastor Ortiz.

Este tramo carretero muestra, en general, una condición estructural "mala", con deflexiones altas en la mayoría de los puntos. A continuación, se presenta el perfil estratigráfico del pavimento, con el cual se espera tener una visión más completa y general del activo vial (ilustración 88).

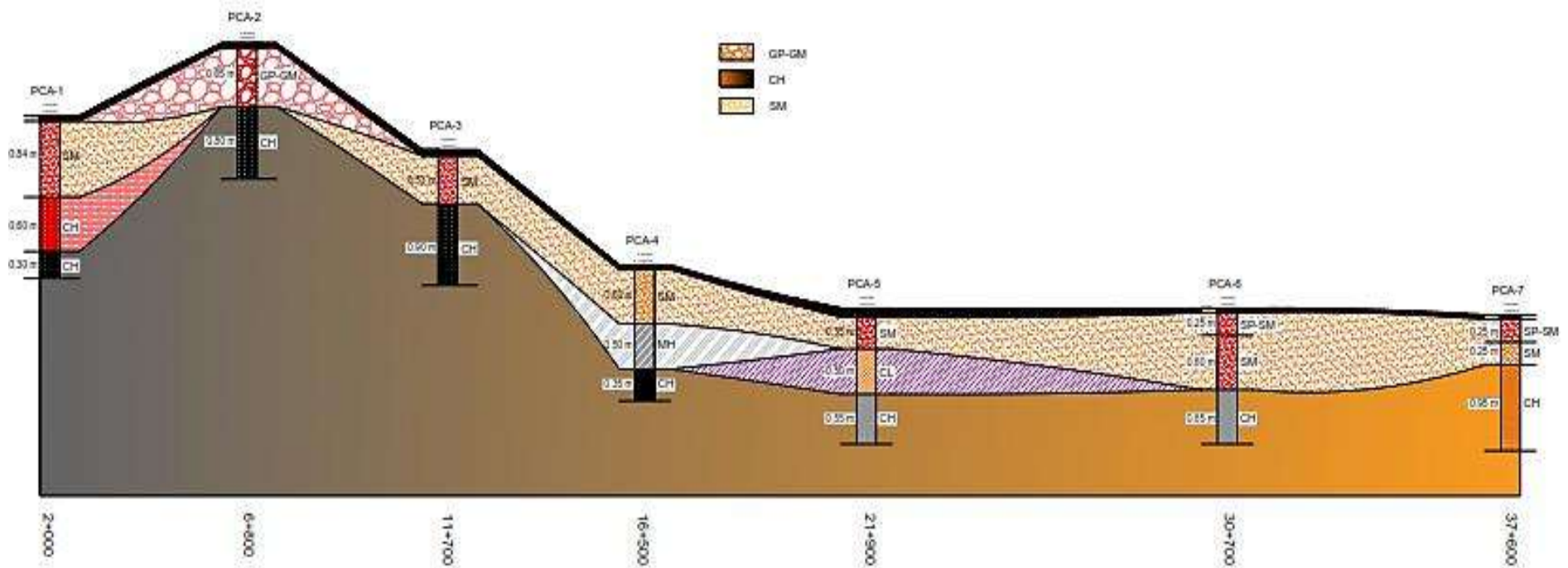


Ilustración 88. Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento, Puruándiro - Pastor Ortiz.

La ilustración 88 muestra el perfil estratigráfico del pavimento en el tramo Puruándiro – Pastor Ortiz. Se observa una carpeta asfáltica de 5 cm sobre un material heterogéneo que no cumple con la calidad mínima de una base hidráulica, compuesto principalmente por arenas limosas (SM) y, en algunos casos, gravas limosas (GM). Esta estructura se desplanta sobre un suelo arcilloso de alta plasticidad (CH). La baja calidad y heterogeneidad de estos materiales resultan en una calidad estructural deficiente del pavimento, considerada como “mala”.

5. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes

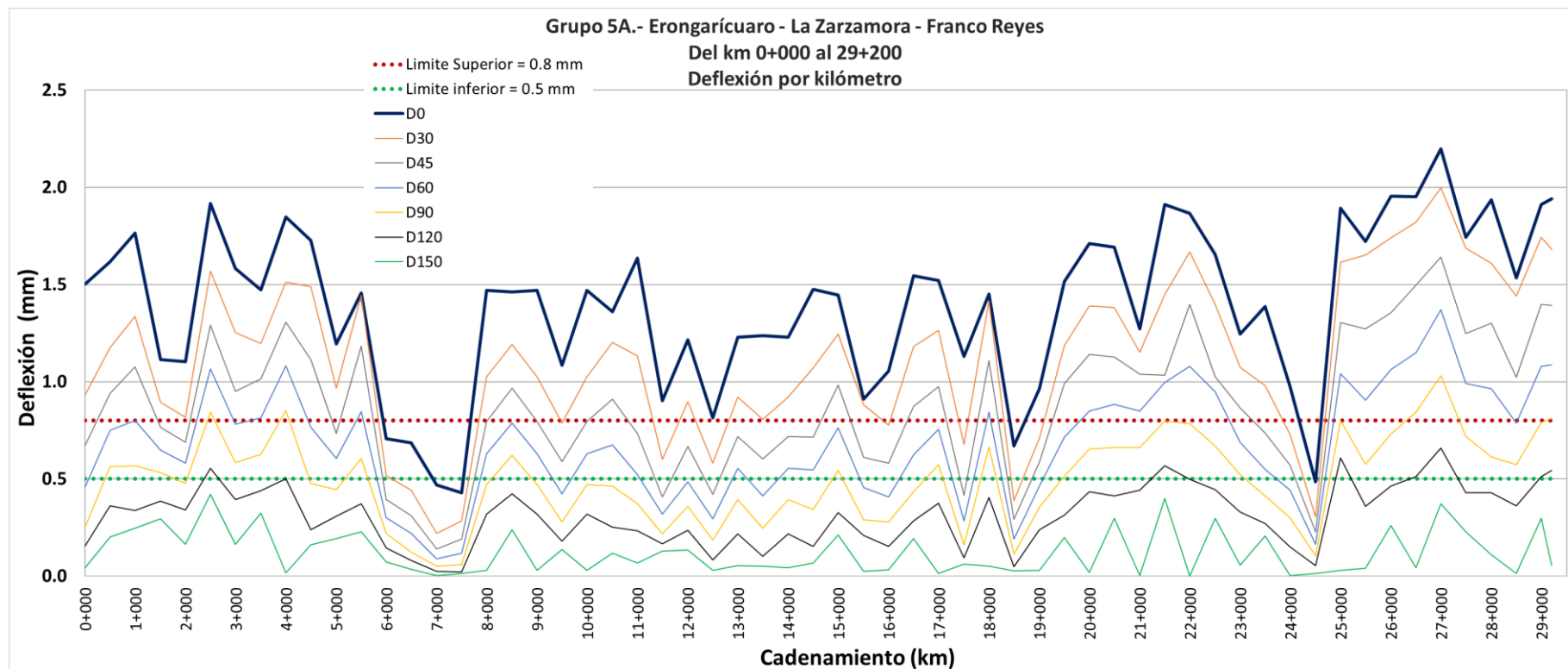


Ilustración 89. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes.

Este tramo carretero muestra, en general, una condición estructural "mala", con deflexiones altas en la mayoría de los puntos. A continuación, se presenta el perfil estratigráfico del pavimento, con el cual se espera tener una visión más completa y general del activo vial (ilustración 90).

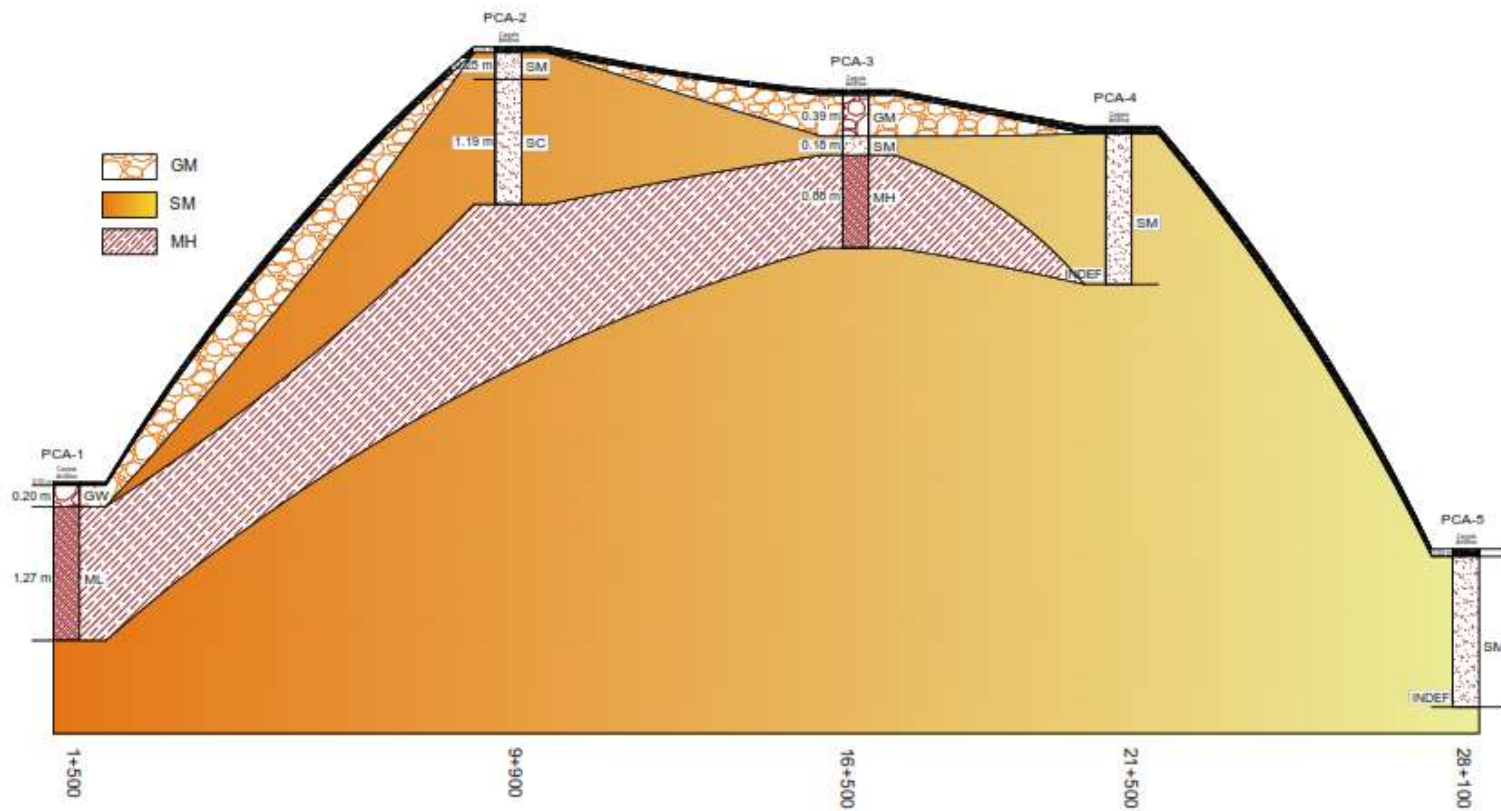


Ilustración 90. Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento, Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes.

La ilustración 90 muestra el perfil estratigráfico del pavimento en el tramo Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes. Se observa una carpeta asfáltica de 5 cm sobre un material heterogéneo que no cumple con la calidad mínima de una base hidráulica, compuesto principalmente por gravas limosas (GM) y, en algunos casos, arenas limosas (SM). Esta estructura se desplanta sobre un suelo arenoso (SM). La baja calidad y heterogeneidad de estos materiales resultan en una calidad estructural deficiente del pavimento, considerada como “mala”.

- **Análisis de deflexiones - Grupo 5B**

6. E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta

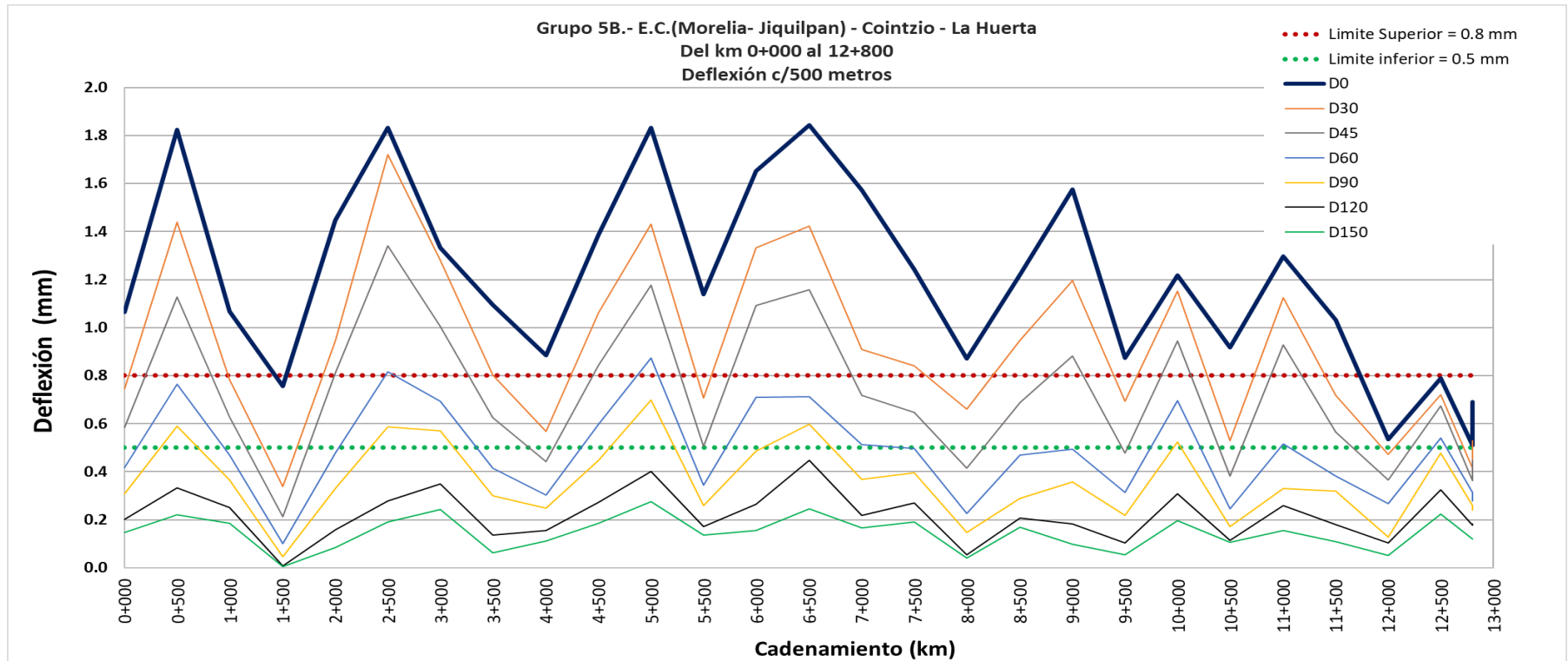


Ilustración 91. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.

Este tramo carretero muestra, en general, una condición estructural "mala", con deflexiones altas en la mayoría de los puntos. A continuación, se presenta el perfil estratigráfico del pavimento, con el cual se espera tener una visión más completa y general del activo vial (ilustración 92).

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO
E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Cointzio - La Huerta

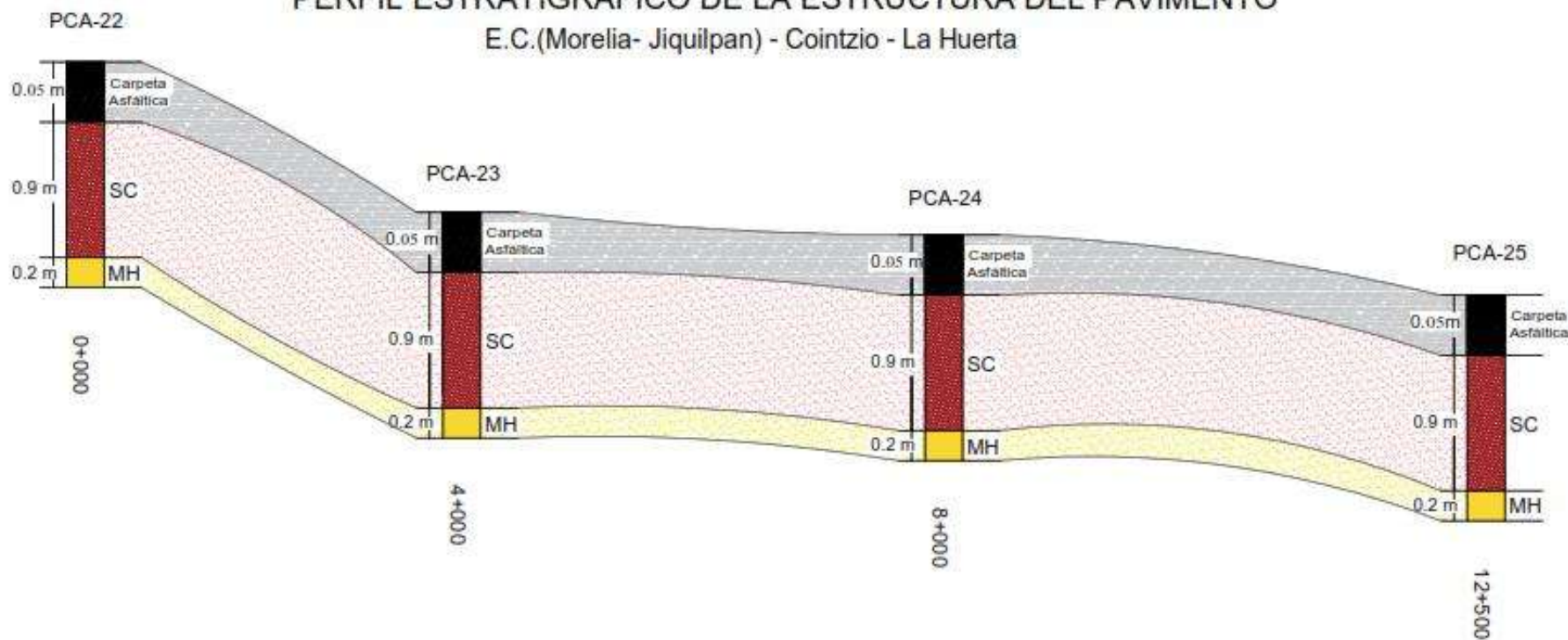


Ilustración 92. Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento, E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.

La ilustración 92 muestra el perfil estratigráfico del pavimento en el tramo E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta, el cual presenta una estratigrafía más homogénea. Se observan tres capas: una carpeta asfáltica de 5 cm, sobre una capa de arena arcillosa (SC) de 0.90 cm, y debajo, una capa de limo de alta compresibilidad (MH) de 20 cm. Estos materiales no cumplen con la calidad adecuada, lo que resulta en una calidad estructural deficiente del pavimento, considerada como “mala”.

7. Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo

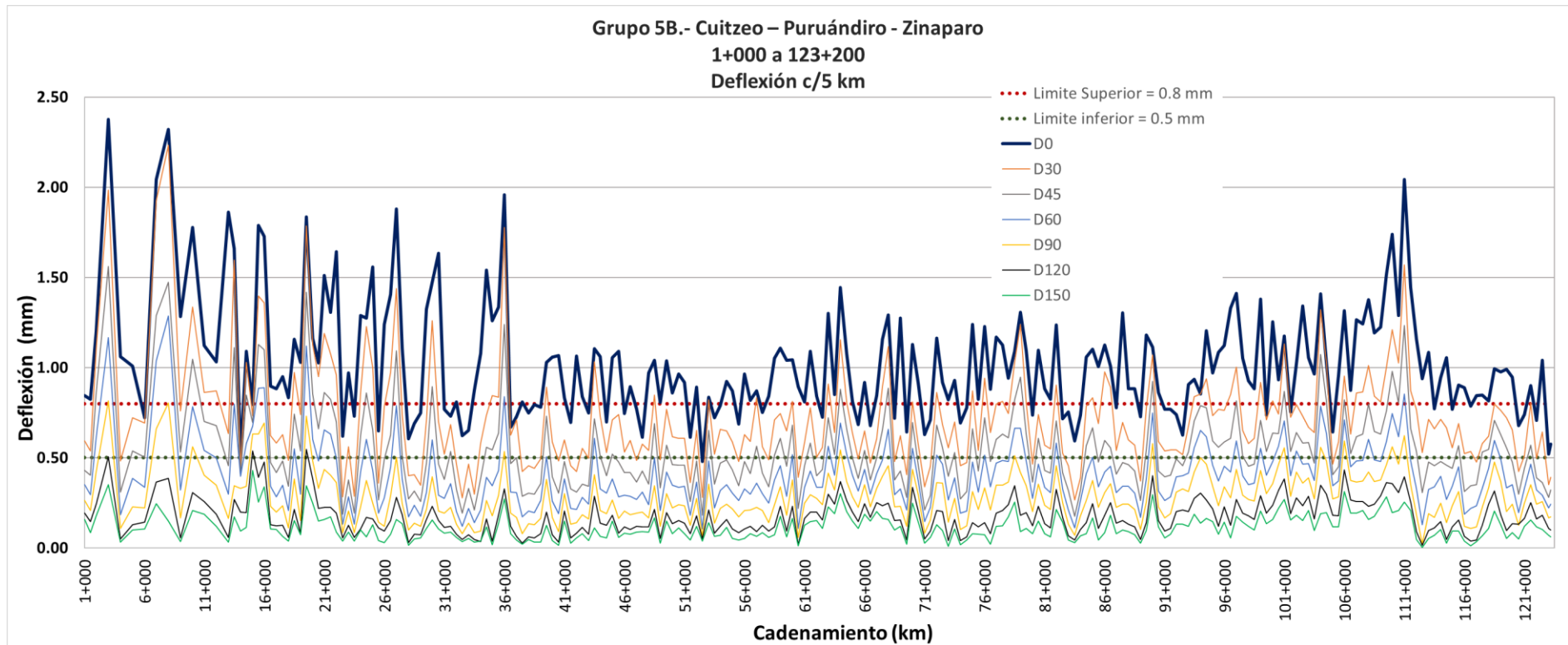


Ilustración 93. Gráfica de deflexiones antes de la puesta a punto, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo.

Este tramo carretero muestra, en general, una condición estructural "mala" a "regular", con deflexiones altas en la mayoría de los puntos. A continuación, se presenta el perfil estratigráfico del pavimento, con el cual se espera tener una visión más completa y general del activo vial (ilustración 94).

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Grupo 5B.- Cuitzeo – Puruándiro - Zinaparo

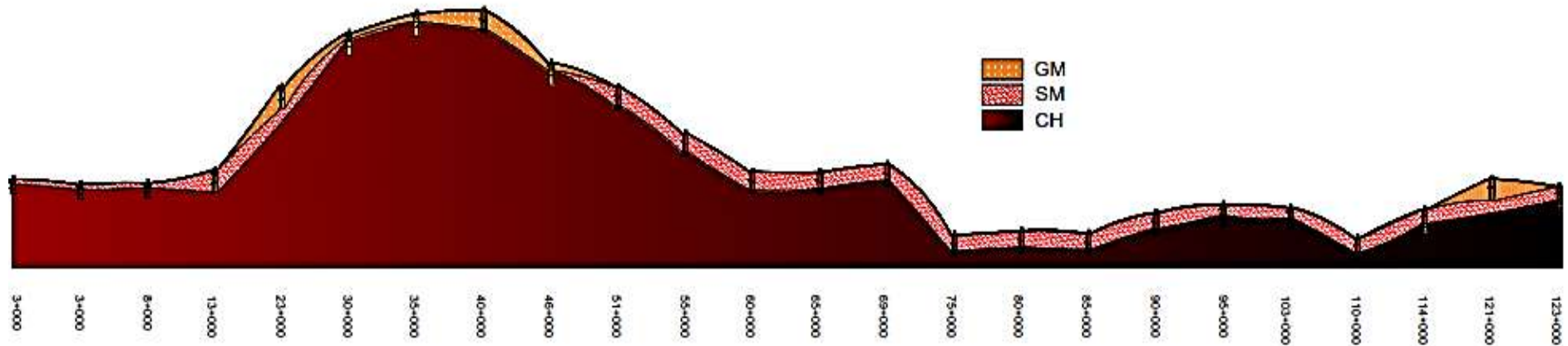


Ilustración 94. Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento, Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo.

La ilustración 94 muestra el perfil estratigráfico del pavimento en el tramo Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo, el cual presenta una estratigrafía homogénea. Se observan tres capas principales: una carpeta asfáltica de 5 cm, sobre una capa de arena limosa (SM) generalmente de 0.90 cm, y debajo, una capa de material arcilloso de alta compresibilidad. En algunos subtramos se observa la presencia de gravas limosas (GM), que contribuyen a la variabilidad en la composición de las capas del pavimento. Sin embargo, este material no cumple con los estándares de calidad requeridos para una base estable, lo que afecta la capacidad estructural general del pavimento y puede contribuir a su clasificación como "mala" en algunos tramos.

5.1.3 Análisis de IRI

En esta sección se realizó un análisis detallado del Índice de Regularidad Internacional (IRI) para identificar las condiciones de la superficie de rodadura de los tramos carreteros. Este análisis permitió determinar el porcentaje de daños y compararlo con los criterios normativos establecidos. Para llevar a cabo este análisis, se utilizaron los criterios y rangos especificados en los términos de referencia, los cuales se presentan en la tabla 127.

Tabla 127. Criterios de referencia para la evaluación del IRI.

Estado	Rango (m/km)
Bueno	Menor a 3.5
Aceptable	De 3.5 a 5.0
Malo	Mayor a 5.0

En la tabla 128 y en la ilustración 95 se presenta un resumen general del estado físico de los tramos evaluados antes de la etapa de puesta a punto.

Tabla 128. Estado físico de los tramos evaluados antes de la puesta a punto.

Grupo	Tramo	IRI - Estado (%)		
		Bueno	Aceptable	Malo
5A	Circuito Periférico de Morelia	19%	50%	31%
	Ramal Camelinas	80%	20%	0%
	Zacapu - Villachuato	30%	16%	54%
	Puruándiro - Pastor Ortiz	17%	48%	35%
	Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes	4%	31%	65%
5B	E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta	0%	8%	92%
	Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo	46%	23%	31%

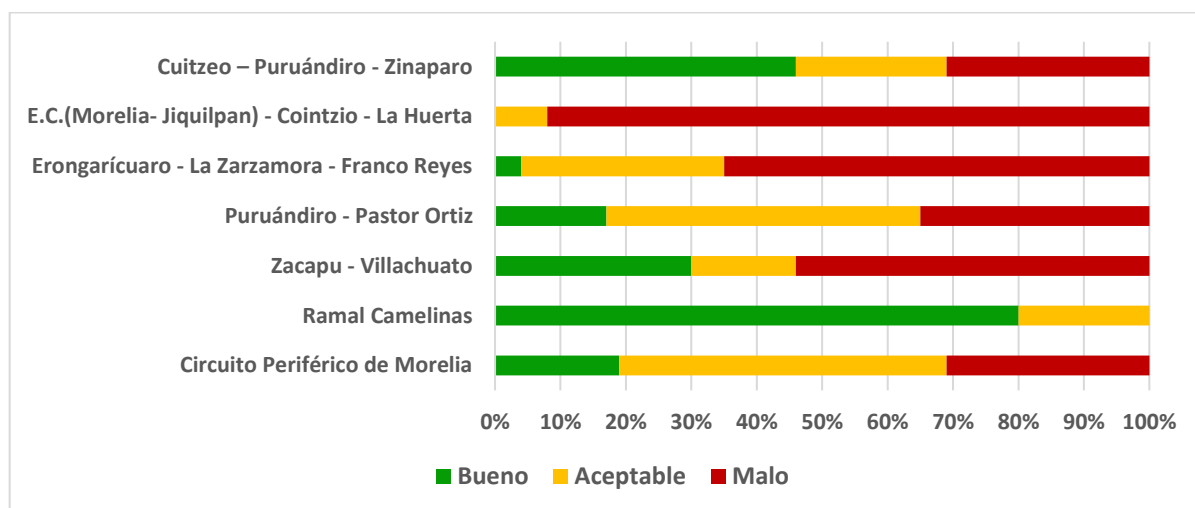


Ilustración 95. Representación gráfica del estado físico de los tramos evaluados.

A continuación, se presenta el análisis individual de cada tramo, acompañado de las gráficas que muestran su estado físico.

- **Análisis de IRI - Grupo 5A**

1. Circuito Periférico de Morelia

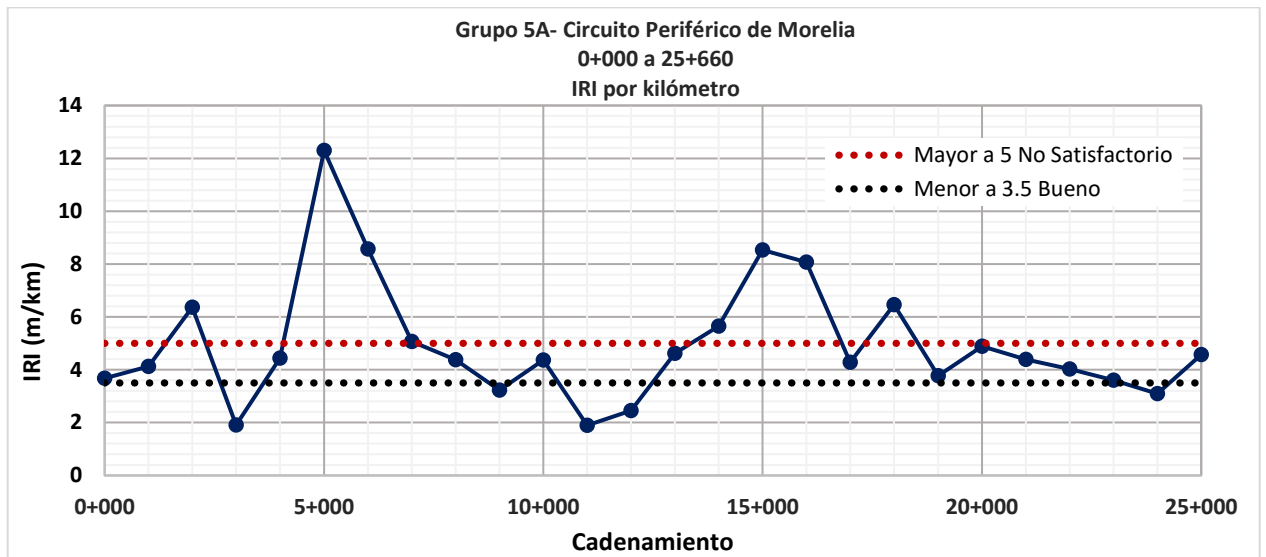


Ilustración 96. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera del Circuito Periférico de Morelia.

En las ilustraciones 96 y 97 se muestra el estado físico de este tramo, con calificaciones predominantes de "Aceptable" y "No satisfactorio", lo cual refleja el deterioro de este activo vial.

■ Bueno ■ Aceptable ■ No satisfactorio

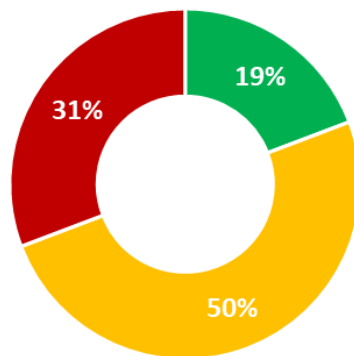


Ilustración 97. Porcentajes del estado físico del tramo, Circuito Periférico de Morelia

2. Ramal Camelinas

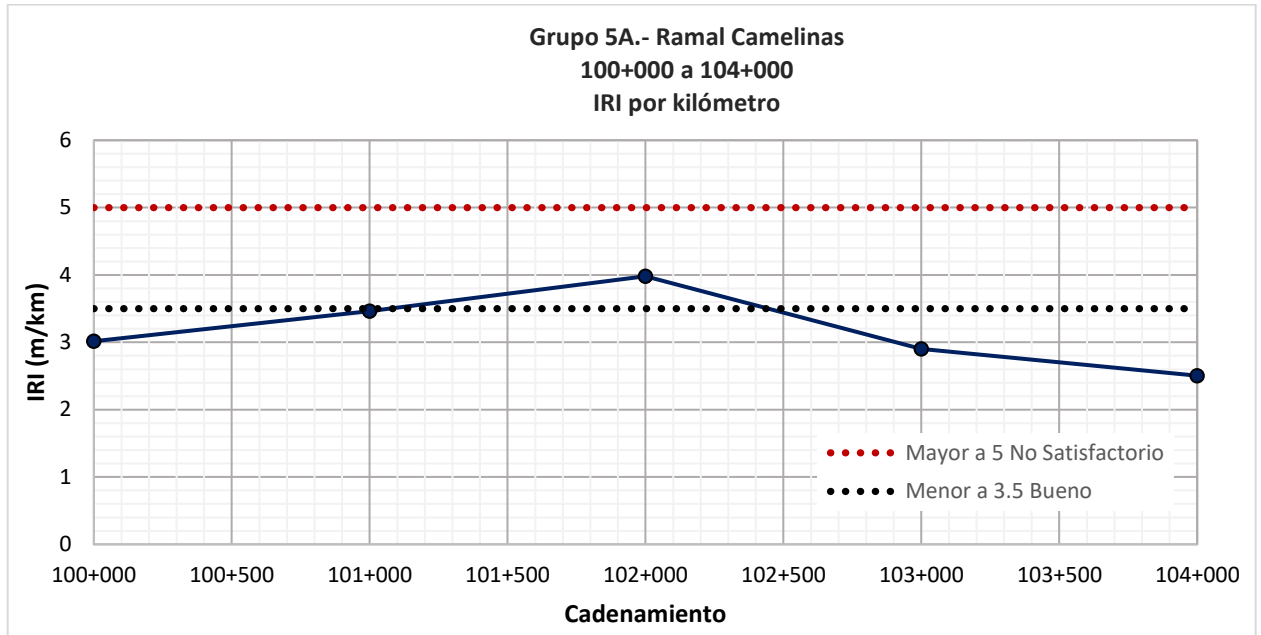


Ilustración 98. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera del Ramal Camelinas.

Las ilustraciones 98 y 99 muestran el estado físico de este tramo, el cual, en general, presenta condiciones “Buenas”. Por esta razón, en el apartado 4.4.5 “Propuestas de conservación del HDM-4” solo se contemplaron actividades correspondientes a la etapa de conservación para este tramo.

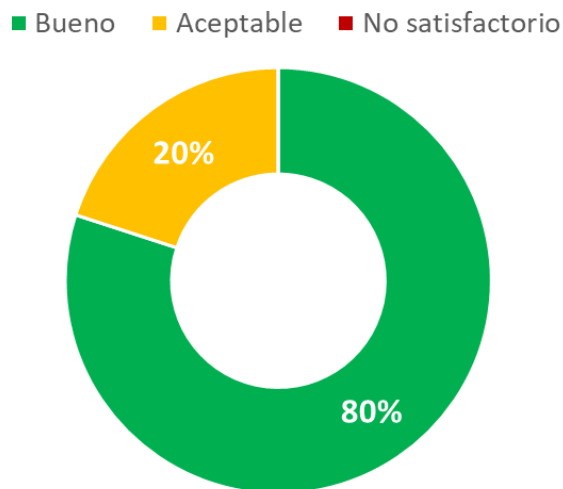


Ilustración 99. Porcentajes del estado físico del tramo, Ramal Camelinas.

3. Zacapu - Villachuato

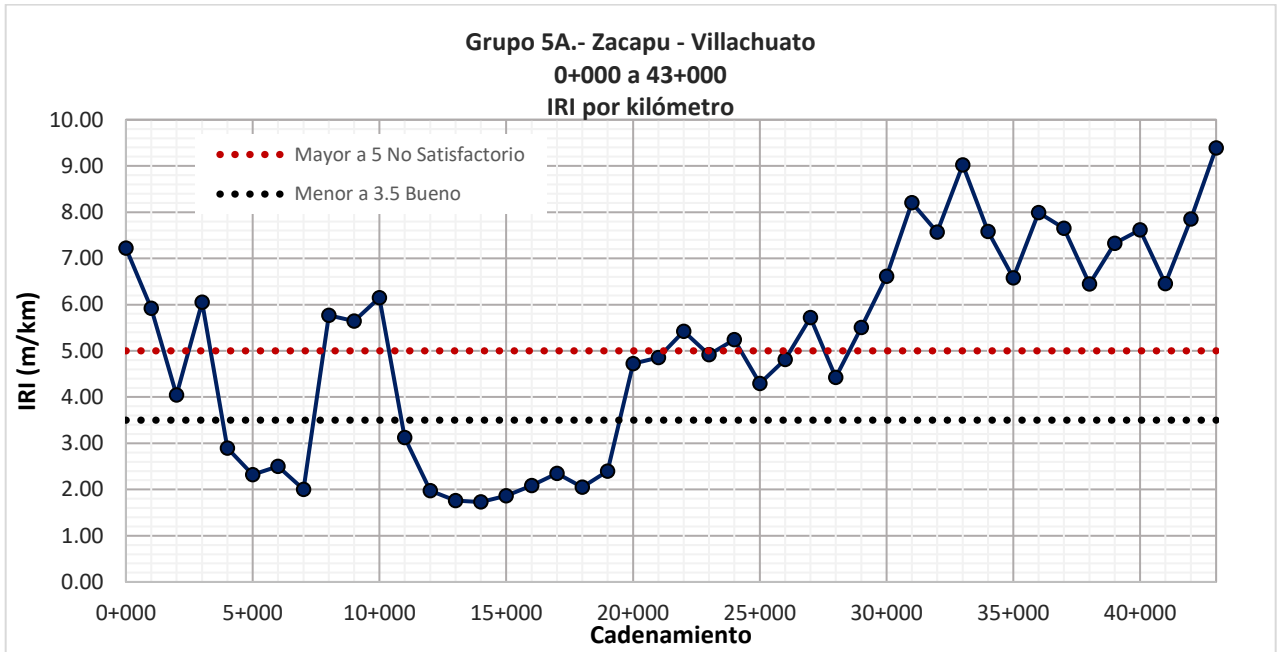


Ilustración 100. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera Zacapu – Villachuato.

En las ilustraciones 100 y 101 se muestra el estado físico de este tramo, con calificaciones predominantes de "No satisfactorio", lo cual refleja el deterioro de este activo vial.

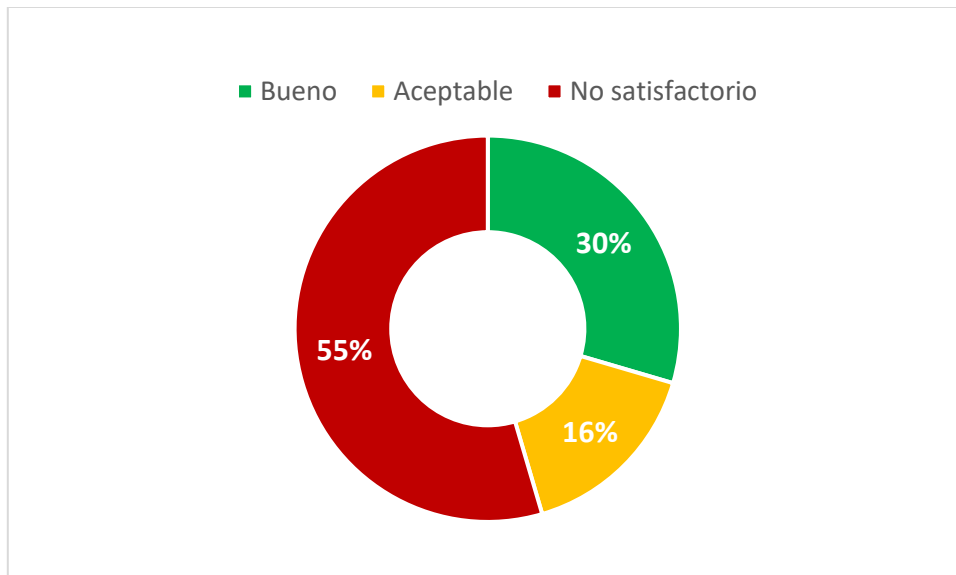


Ilustración 101. Porcentajes del estado físico del tramo, Zacapu – Villachuato.

4. Puruándiro - Pastor Ortiz

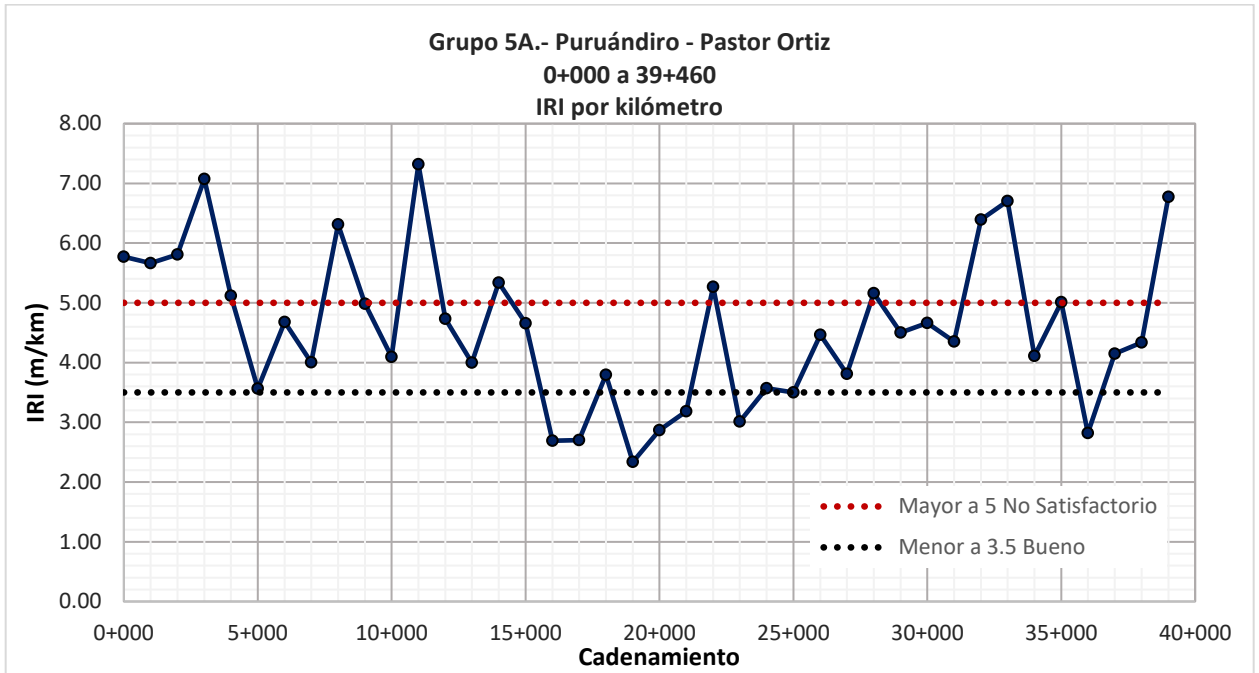


Ilustración 102. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera Puruándiro - Pastor Ortiz.

En las ilustraciones 102 y 103 se muestra el estado físico de este tramo, con calificaciones predominantes de "Aceptable" y de "No satisfactorio", lo cual refleja el deterioro de este activo vial.

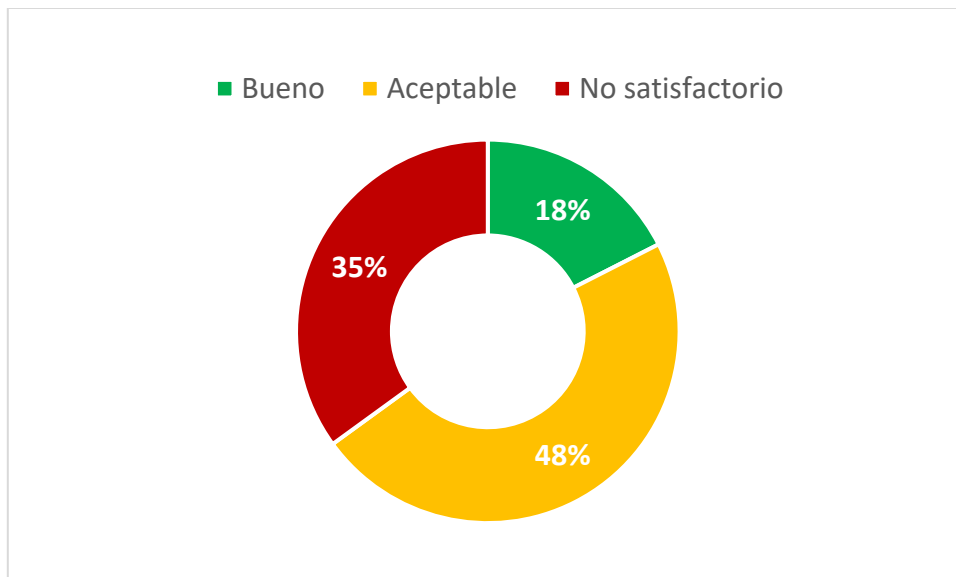


Ilustración 103. Porcentajes del estado físico del tramo, Puruándiro - Pastor Ortiz.

5. Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes

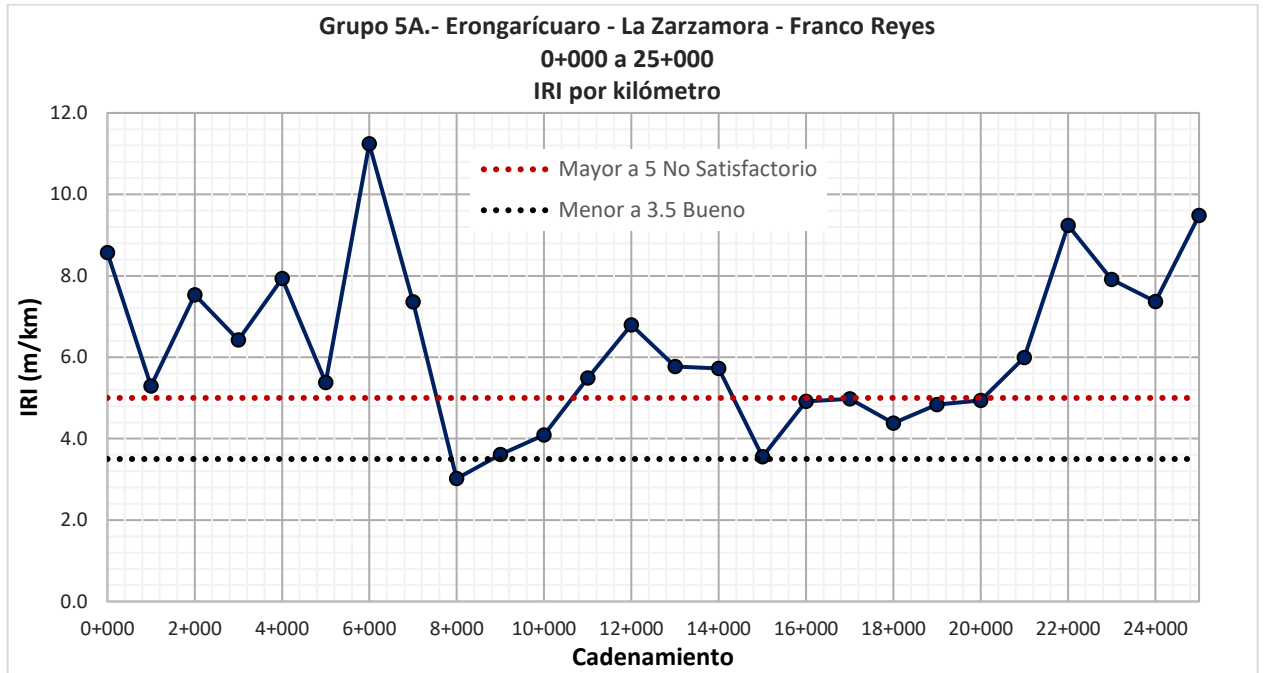


Ilustración 104. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes.

En las ilustraciones 104 y 105 se muestra el estado físico de este tramo, con calificaciones predominantes de "No satisfactorio", lo cual refleja el deterioro de este activo vial.

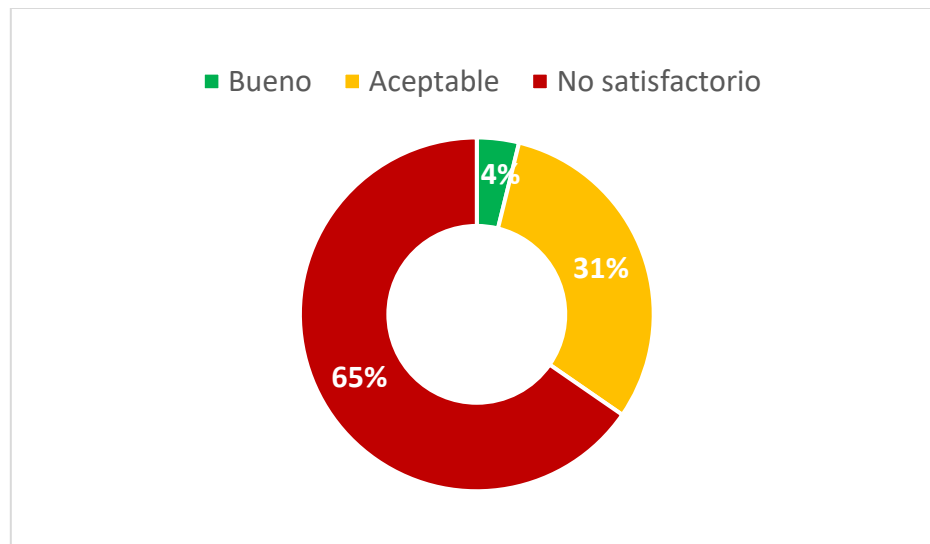


Ilustración 105. Porcentajes del estado físico del tramo, Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes.

- **Análisis de IRI - Grupo 5B**

6. E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta

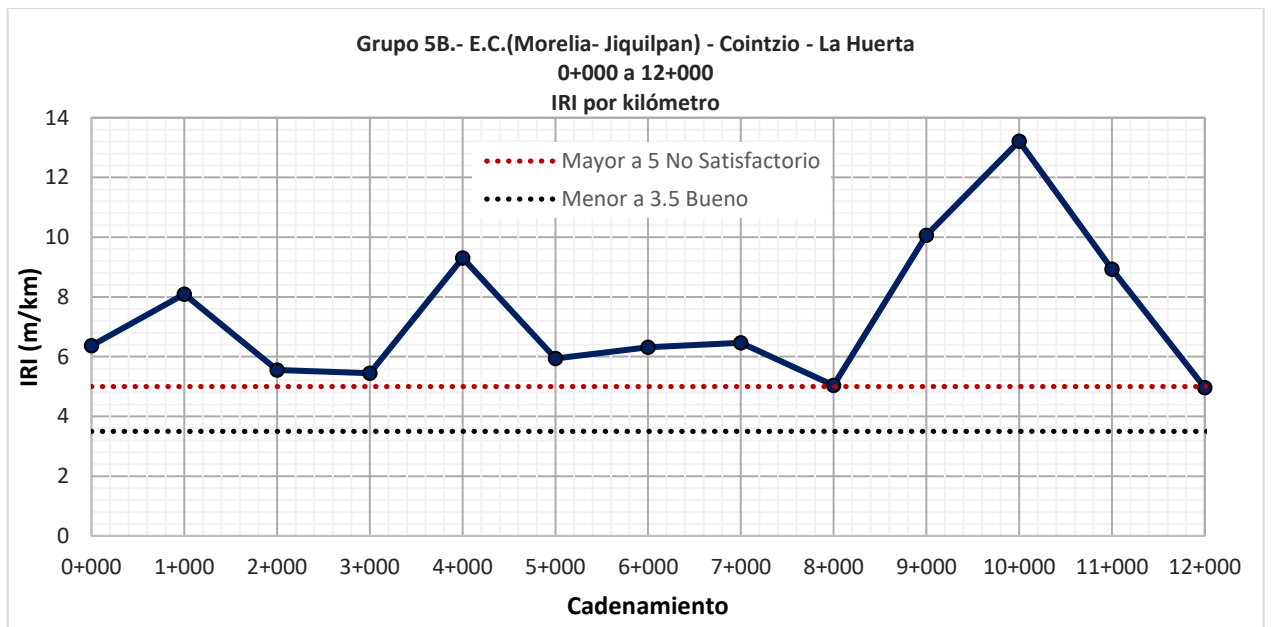


Ilustración 106. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.

En las ilustraciones 106 y 107 se muestra el estado físico de este tramo, con calificaciones predominantes de "No satisfactorio", lo cual refleja el deterioro de este activo vial.

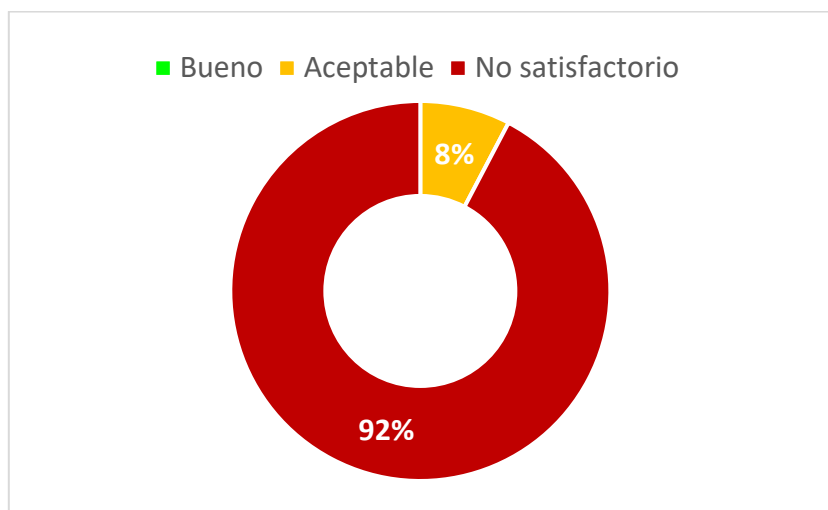


Ilustración 107. Porcentajes del estado físico del tramo, E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.

7. Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo

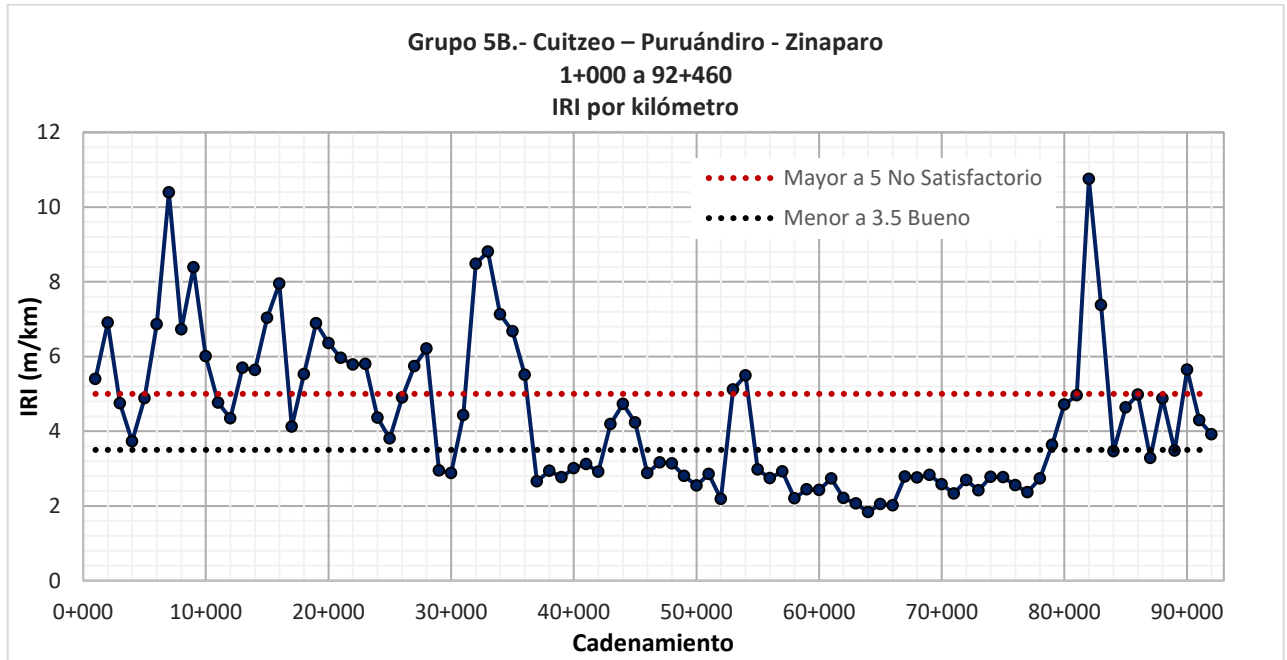


Ilustración 108. Larguillo de IRI y límites del estado físico de la carretera Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.

En las ilustraciones 108 y 109 se muestra el estado físico de este tramo, con calificaciones predominantes de "No satisfactorio" y "Aceptable", lo cual refleja el deterioro de este activo vial.

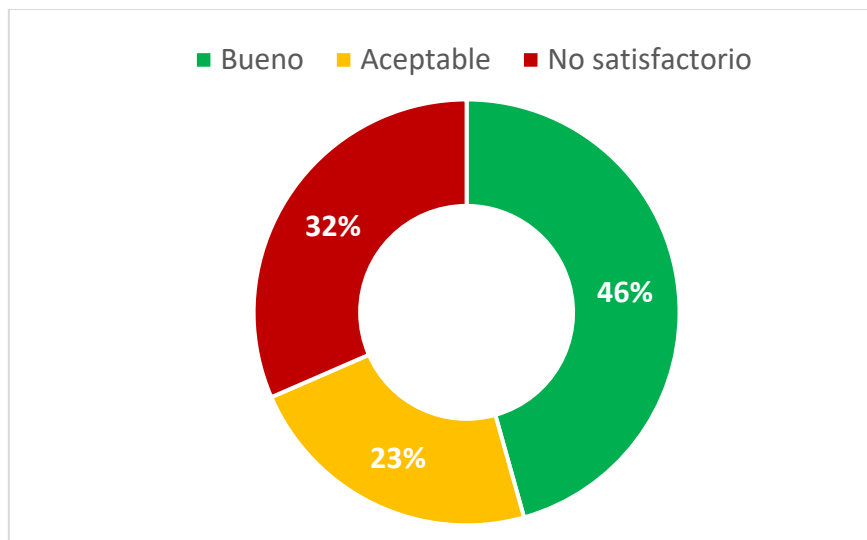


Ilustración 109. Porcentajes del estado físico del tramo, Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.

5.1.1 Análisis de costos de Operación Vehicular

En este apartado se llevó a cabo un análisis de costos de operación, tomando como parámetro comparativo el IRI proyectado y estimado para la etapa de conservación y el IRI medido antes de las intervenciones a los tramos carreteros en estudio. El objetivo de este análisis es comparar el costo que representa para el usuario transitar por un camino en malas condiciones frente a uno en condiciones óptimas. Asimismo, se busca demostrar las diferencias y ventajas que los ahorros totales para los usuarios ofrecen en comparación con los costos totales de inversión y financiamiento.

Metodología del análisis

La metodología empleada se basa en la publicación técnica número 756 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), titulada *Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2023*. Para el análisis, se utilizaron los siguientes datos:

1. **TDPA y datos de la composición vehicular**, obtenidos de los análisis de tránsito de cada tramo en estudio.
2. **Datos de IRI promedio**, valores promedio resultantes de las mediciones de cada tramo antes de la puesta a punto (P.P.).
3. **Datos de IRI estimado y proyectado** para la etapa de conservación, utilizados como referencia comparativa en el análisis de costos de operación vehicular

Pasos de la metodología

1. Análisis de Composición Vehicular:

Se determina el TDPA y la composición vehicular del tramo, identificando el porcentaje de cada tipo de vehículo que transita en el área de estudio. Lo cual se realizó en el capítulo 5.1.1 “Análisis de tránsito”.

2. Determinación de Costos de Operación Base (COB):

De la publicación técnica número 756, se obtienen los costos de operación base en pesos por vehículo-kilómetro para cada tipo de vehículo. Este cálculo considera un

escenario ideal en el que los vehículos circulan sobre una carretera recta, sin pendientes, y con un pavimento en excelentes condiciones, es decir, un IRI de 2 m/km, valor proyectado para la etapa de conservación (IMT P.T. No. 756, 2023).

3. Ajuste de Costos de Operación según Composición Vehicular (COCV):

Se calcula un costo de operación ajustado que refleje las condiciones de tránsito específicas del tramo. Esto se realiza multiplicando el costo de operación base de cada tipo de vehículo por su porcentaje en la composición vehicular. Así, se obtiene el costo promedio ponderado para la mezcla de vehículos real.

4. Cálculo del Costo Generalizado de Operación (CGO):

Se suma el costo de operación ajustado para cada tipo de vehículo, resultando en un costo generalizado de operación por transitar el tramo. Este valor proporciona una estimación global del costo de operación vehicular, considerando las condiciones reales de tráfico y el estado de conservación del pavimento.

5. Cálculo del factor de costo de operación base (FCOB):

Con base en los valores promedio de IRI (iniciales y finales) y con ayuda de las *gráficas para distintas condiciones de terreno* de la publicación técnica 756, se determinan factores de corrección en función del tipo de terreno para ajustar el costo de operación base.

6. Cálculo del nuevo costo generalizado ajustado (NCGO):

Con el costo de operación base ajustado ($COB_{AJUSTADO}$), se repite el cálculo del costo generalizado del paso 4, obteniendo un nuevo costo generalizado ajustado para cada caso.

7. Cálculo del ahorro por costo generalizado:

La diferencia entre el costo generalizado base (en condiciones óptimas) y el costo ajustado (en condiciones reales de deterioro) permite calcular el ahorro por costo generalizado en pesos.

8. Cálculo de ahorros anuales basado en el volumen vehicular:

Con el TDPA, se estima el volumen vehicular anual. Este volumen, multiplicado por el ahorro por costo generalizado, proporciona los ahorros anuales.

9. Determinación de beneficios totales en ahorros para los usuarios:

Los ahorros anuales se suman para la duración de la etapa de conservación, obteniendo los beneficios totales en millones de pesos (MDP).

10. Análisis comparativo entre beneficios y costos totales:

Finalmente, se comparan los beneficios totales cuantificados en ahorros para los usuarios (MDP) con los costos de infraestructura, financiamiento, y con los costos totales de inversión. En la ilustración 110 se presenta la metodología descrita anteriormente.

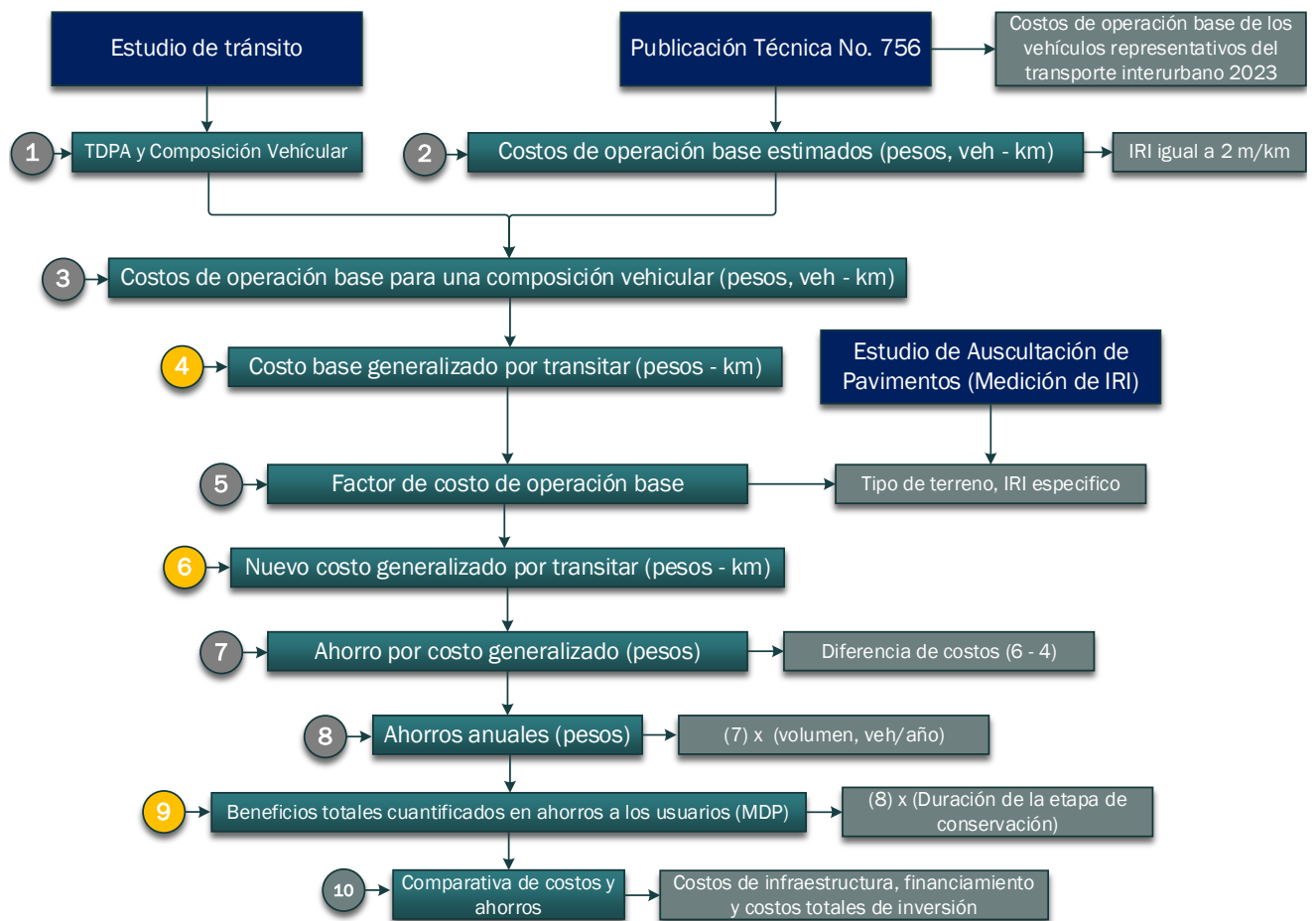


Ilustración 110. Metodología de análisis de costos de operación vehicular, elaboración propia.

A continuación, se presenta el análisis individual de cada tramo, empleando la metodología antes mencionada.

- **Análisis de costos de operación - Grupo 5A**

1. Circuito Periférico de Morelia

En el caso del Circuito Periférico de Morelia, se contó con datos provenientes de tres estaciones aforadoras. Para el análisis, se realizó un promedio de la composición vehicular utilizando la información de estas estaciones. Sin embargo, con el objetivo de obtener un análisis más robusto, se optó por utilizar el valor máximo del TDPA, lo que permitió reflejar un mayor análisis de sensibilidad en los resultados. El tipo de terreno, para este análisis se consideró como “plano”.

En este caso, se contó con un IRI medido antes de la puesta a punto de 4.61 m/km, un IRI estimado después de la puesta a punto de 3.5 m/km y un IRI proyectado de 2 m/km para la etapa de conservación, este último obtenido mediante el análisis realizado con el software HDM-4. El análisis se muestra en la tabla 129

Tabla 129. Análisis de costos de operación, Circuito Periférico de Morelia

Tipo de Vehículo	Clasificación	Comp. Vehicular (%)	COB (pesos, veh - km)	COCV (pesos, veh - km)	CGO (pesos - km)	FCOB Antes P.P.	FCOB Después P.P.	COB Ajustado		Nuevo CGO	
								(pesos, veh - km) Antes P.P.	(pesos, veh - km) Después P.P.	(pesos - km) Antes P.P.	(pesos - km) Después P.P.
Autos	A	93.89%	\$6.57	\$6.17	\$7.15	1.15	1.08	\$7.09	\$6.66	\$8.31	\$7.83
Autobuses	B	1.66%	\$17.39	\$0.29		1.21	1.16	\$0.35	\$0.33		
Camiones	C2	1.86%	\$11.01	\$0.20		1.26	1.20	\$0.26	\$0.25		
	C3	1.32%	\$15.11	\$0.20		1.26	1.21	\$0.25	\$0.24		
Tractocamiones	T3-S2	0.40%	\$19.94	\$0.08		1.23	1.19	\$0.10	\$0.10		
	T3-S3	0.60%	\$22.65	\$0.14		1.24	1.20	\$0.17	\$0.16		
	T3-S2-R4	0.26%	\$28.18	\$0.07		1.29	1.25	\$0.09	\$0.09		

En la tabla 129 se observa un costo de operación generalizado para un IRI de 2 m/km de \$7.15, así como costos de operación base ajustados de \$8.31 y \$7.83 correspondientes a los valores de IRI de 4.61 y 3.5 m/km, respectivamente (Ilustración 111). Con estos costos de operación se realizó el análisis comparativo: Beneficio vs Costos de financiamiento, infraestructura e inversión total, los cuales se muestran en la tabla 130 y en la ilustración 112 se muestra la relación entre los costos de inversión y los ahorros en beneficios a los usuarios.

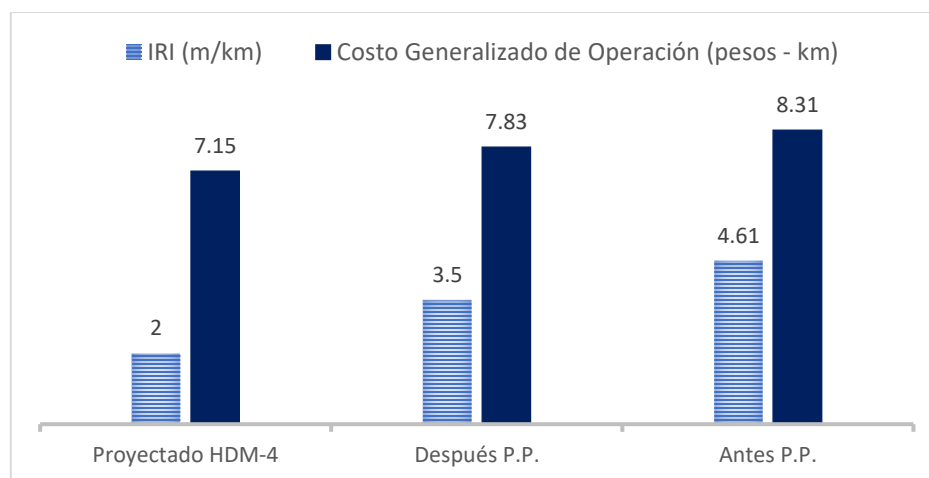


Ilustración 111. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, CPM

La ilustración 111 muestra la relación que existe entre el estado del pavimento en términos de IRI y los costos de operación vehicular. El incremento en los costos de operación refleja el deterioro progresivo del pavimento, destacando un ahorro potencial al mantener un IRI óptimo

Tabla 130. Análisis: Beneficios vs Costos de financiamiento, C.P.M.

Análisis IRI	Antes P.P. vs Después P.P.	Antes P.P. vs Proyectado HDM-4
TDPA (Veh/día) =	84,021	84,021
Volumen (Veh/año) =	30,667,665	30,667,665
Costo por transitar en caminos sin rehabilitar (pesos-km) =	\$8.31	\$8.31
Costo por transitar en caminos intervenidos (pesos-km) =	\$7.83	\$7.15
Ahorro por costo generalizado (pesos-km) =	\$0.48	\$1.16
Ahorros anuales (pesos-km) =	\$14,687,289.36	\$35,660,584.06
Duración etapa de conservación (meses) =	32	32
Beneficios totales cuantificados en ahorros a los usuarios (pesos-km)=	\$39,166,104.96	\$95,094,890.81
Costo de infraestructura=	\$158,090,808.89	\$158,090,808.89
Costo de financiamiento=	\$36,699,570.71	\$36,699,570.71
Costo total de inversión=	\$194,790,379.60	\$194,790,379.60
% Ahorros (pesos – km) vs Financiamiento=	106.72%	259.12%

En la tabla 130 se observa que el costo promedio por kilómetro disminuye \$0.48 al considerar los NCGO y \$1.16 en comparación con el COB en condiciones óptimas. Los beneficios totales para los usuarios, derivados de ahorros en costos generalizados, alcanzan \$39.17 MDP y \$95.09 MDP, dependiendo del criterio de referencia.

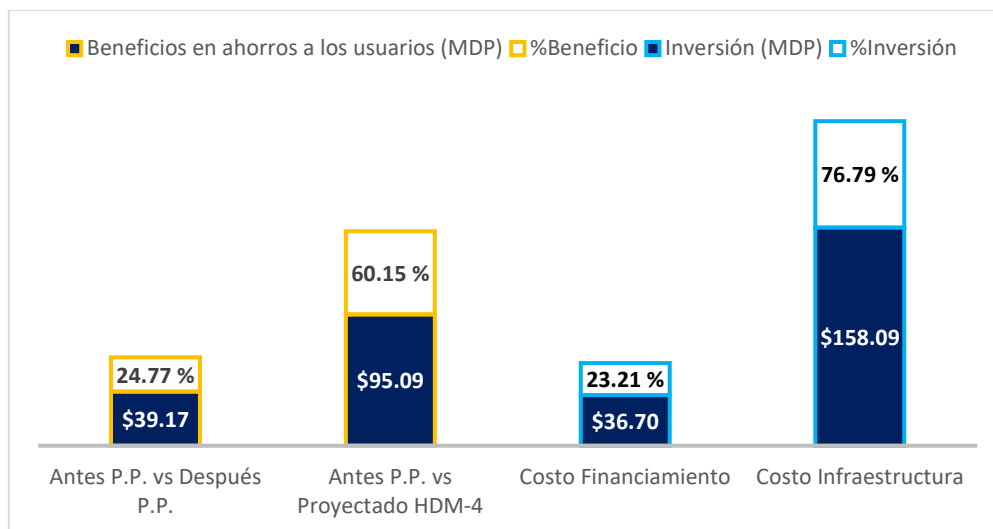


Ilustración 112. Relación de inversión y beneficios, Circuito Periférico de Morelia.

En la ilustración 112 se observa que los beneficios totales cuantificados (\$39.17 millones en un escenario conservador y \$95.09 millones considerando el COB) superan significativamente el costo de financiamiento, estimado en \$36.7 millones. Esto sugiere que el financiamiento podría ser amortizado dentro de los primeros dos años de la etapa de conservación (32 meses).

2. Ramal Camelinas

El activo vial del Ramal Camelinas presentó un estado funcional "Bueno" durante la etapa de auscultación, con un IRI promedio de 3.24 m/km antes de la puesta a punto. Dada esta condición favorable, no se realizaron intervenciones mayores, y las actividades se limitaron a la etapa de conservación. Sin embargo, para evaluar los beneficios de mantener esta condición y analizar el impacto del deterioro, se realizó un análisis a la inversa:

- Comparativa en condiciones de deterioro (IRI=5).
- Comparativa con el caso base (IRI=2).

El análisis se realizó considerando un terreno tipo lomerío. El cálculo de los costos generalizados se presenta en la tabla 131. Los costos generalizados calculados por transitar en las condiciones antes de la puesta a punto, de deterioro y condiciones óptimas, proyectado con el software HDM-4, son los mostrados en la ilustración 113.

Tabla 131. Análisis de costos de operación, Ramal Camelinas.

Tipo de Vehículo	Clasificación	Comp. Vehicular (%)	COB (pesos, veh - km)	COCV (pesos, veh - km)	CGO (pesos - km)	FCOB Antes P.P.	FCOB Condiciones de deterioro	COB Ajustado		Nuevo CGO	
								(pesos, veh - km) Antes P.P.	(pesos, veh - km) Condiciones de deterioro	(pesos - km) Antes P.P.	(pesos - km) Condiciones de deterioro
Autos	A	95.57%	\$6.57	\$6.28	\$6.90	1.21	1.28	\$7.58	\$8.04	\$8.54	\$9.04
Autobuses	B	0.15%	\$17.39	\$0.03		1.46	1.51	\$0.04	\$0.04		
Camiones	C2	1.73%	\$11.01	\$0.19		1.49	1.58	\$0.28	\$0.30		
	C3	2.30%	\$15.11	\$0.35		1.56	1.63	\$0.54	\$0.56		
Tractocamiones	T3-S2	0.08%	\$19.94	\$0.02		1.49	1.56	\$0.02	\$0.02		
	T3-S3	0.09%	\$22.65	\$0.02		1.56	1.63	\$0.03	\$0.03		
	T3-S2-R4	0.08%	\$28.18	\$0.02		1.65	1.72	\$0.04	\$0.04		

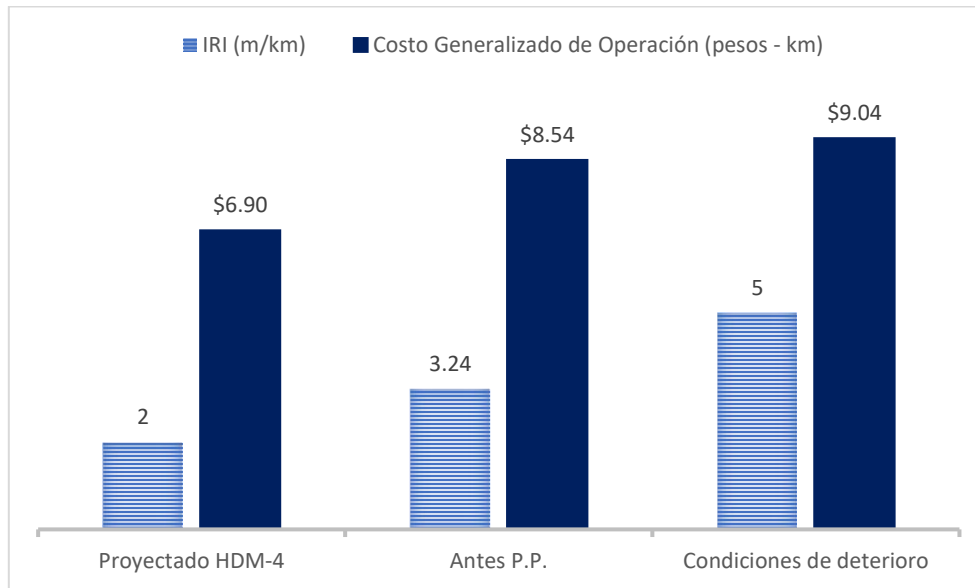


Ilustración 113. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, Ramal Camelinas.

En la tabla 132 y en la ilustración 114 se presentan los resultados del análisis de costos de financiamiento, inversión y totales frente a los costos en ahorros en beneficios a los usuarios. El análisis destaca un ahorro en costos generalizado de \$0.50 al mantener el IRI en condiciones actuales (3.24) frente al escenario de deterioro (IRI=5) y de \$1.63 al reducir el IRI a condiciones óptimas (IRI=2). Además, se observa que los ahorros totales para los usuarios durante los 34 meses de conservación ascienden a \$5.54 MDP (IRI = 3.24 vs. 5) y \$18.05 MDP (IRI = 2 vs. 5).

Tabla 132 Análisis: Beneficios vs Costos de financiamiento, Ramal Camelinas

Análisis IRI	Antes P.P. vs Condiciones de deterioro	Antes P.P. vs Proyectoado HDM-4
TDPA (Veh/día) =	10,680	10,680
Volumen (Veh/año) =	3,898,200	3,898,200
Costo por transitar en caminos sin rehabilitar (pesos-km) =	\$8.54	\$8.54
Costo por transitar en caminos intervenidos (pesos-km) =	\$9.04	\$6.90
Ahorro por costo generalizado (pesos-km) =	\$0.50	\$1.63
Ahorros anuales (pesos-km) =	\$1,955,899.44	\$6,370,711.19
Duración etapa de conservación (meses) =	34	34
Beneficios totales cuantificados en ahorros a los usuarios (pesos-km)=	\$5,541,715.08	\$18,050,348.38
Costo de infraestructura=	\$15,505,155.83	\$15,505,155.83
Costo de financiamiento=	\$3,599,403.19	\$3,599,403.19
Costo total de inversión=	\$19,104,559.02	\$19,104,559.02
% Ahorros (pesos – km) vs Financiamiento=	153.96%	501.48%

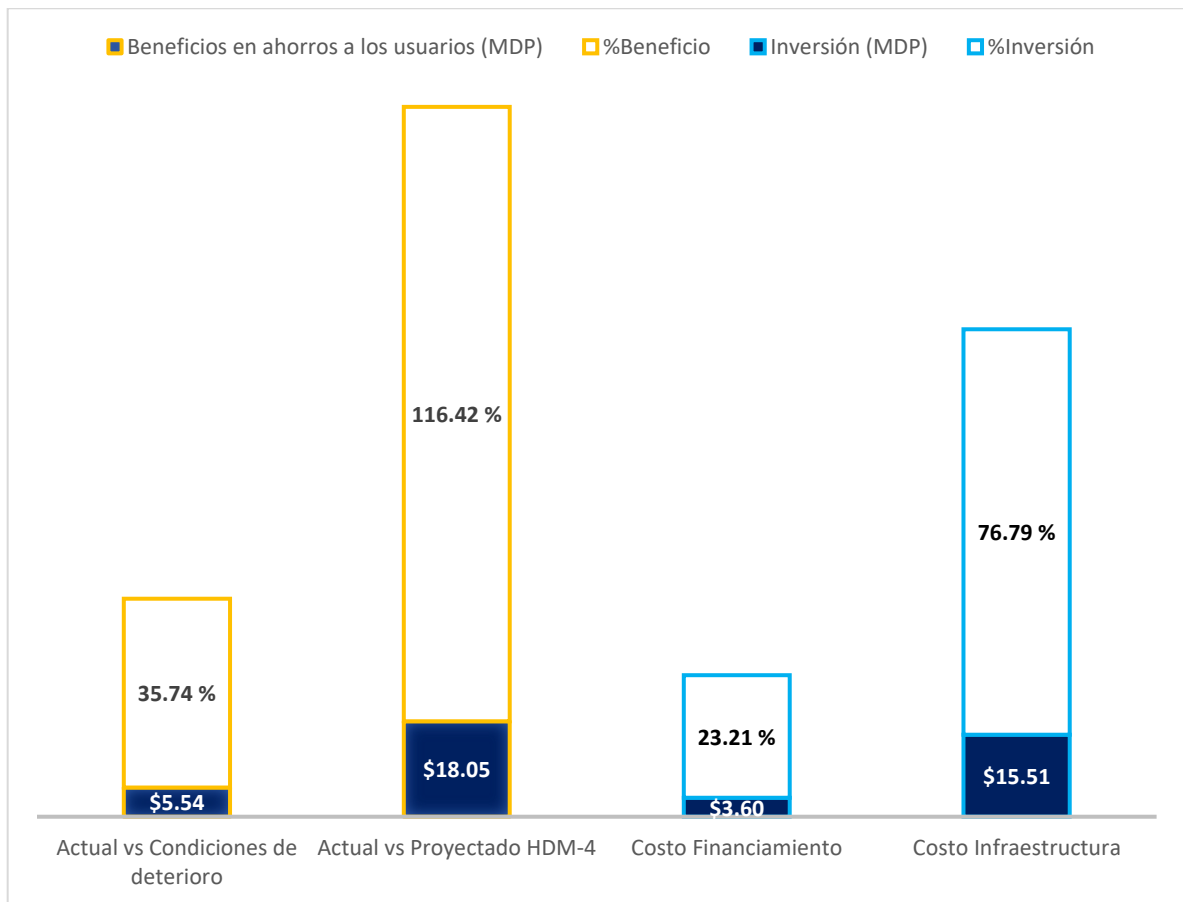


Ilustración 114. Relación de inversión y beneficios, Ramal Camelinas

3. Zacapu - Villachuato

Para este tramo carretero, se contó con un IRI promedio medido antes de la puesta a punto de 5.05 m/km, un IRI estimado después de la puesta a punto de 3.5 m/km y un IRI proyectado de 2 m/km para la etapa de conservación, este último obtenido mediante el análisis realizado con el software HDM-4. El análisis se muestra en la tabla 133. El análisis se realizó considerando un terreno tipo montañoso.

Tabla 133. Análisis de costos de operación, Zacapu – Villachuato.

Tipo de Vehículo	Clasificación	Comp. Vehicular (%)	COB (pesos, veh - km)	COCV (pesos, veh - km)	CGO (pesos - km)	FCOB Antes P.P.	FCOB Después P.P.	COB Ajustado		Nuevo CGO	
								(pesos, veh - km) Antes P.P.	(pesos, veh - km) Después P.P.	(pesos - km) Antes P.P.	(pesos - km) Después P.P.
Autos	A	93.89%	\$6.57	\$6.17	\$7.15	1.43	1.35	\$8.82	\$8.33	\$10.76	\$10.19
Autobuses	B	1.66%	\$17.39	\$0.29		1.84	1.79	\$0.53	\$0.52		
Camiones	C2	1.86%	\$11.01	\$0.20		1.95	1.87	\$0.40	\$0.38		
	C3	1.32%	\$15.11	\$0.20		2.10	1.98	\$0.42	\$0.39		
Tractocamiones	T3-S2	0.40%	\$19.94	\$0.08		1.91	1.85	\$0.15	\$0.15		
	T3-S3	0.60%	\$22.65	\$0.14		2.03	1.97	\$0.28	\$0.27		
	T3-S2-R4	0.26%	\$28.18	\$0.07		2.20	2.14	\$0.16	\$0.16		

En la tabla 133 se observa un costo de operación generalizado para un IRI de 2 m/km de \$7.15, así como costos de operación base ajustados de \$10.76 y \$10.19 correspondientes a los valores de IRI de 5.05 y 3.5 m/km, respectivamente (Ilustración 115). Con estos costos de operación se realizó el análisis comparativo: Beneficio vs Costos de financiamiento, infraestructura e inversión total, los cuales se muestran en la tabla 134 y en la ilustración 116 se muestra la relación entre los costos de inversión y los ahorros en beneficios a los usuarios.

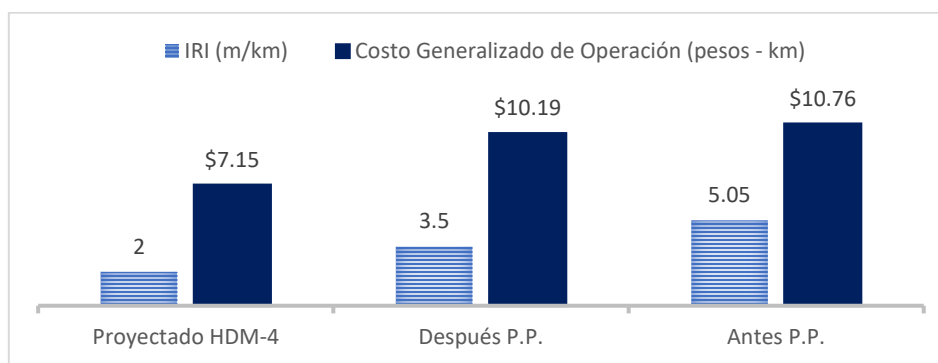


Ilustración 115. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, Zacapu – Villachuato.

Tabla 134. Beneficios vs Costos de financiamiento, Zacapu – Villachuato.

Análisis IRI	Antes P.P. vs Después P.P.	Antes P.P. vs Proyectado HDM-4
TDPA (Veh/día) =	5,900	5,900
Volumen (Veh/año) =	2,153,500	2,153,500
Costo por transitar en caminos sin rehabilitar (pesos-km) =	\$10.76	\$10.76
Costo por transitar en caminos intervenidos (pesos-km) =	\$10.19	\$7.15
Ahorro por costo generalizado (pesos-km) =	\$0.57	\$3.61
Ahorros anuales (pesos-km) =	\$1,218,380.58	\$7,774,080.10
Duración etapa de conservación (meses) =	34	34
Beneficios totales cuantificados en ahorros a los usuarios (pesos-km)=	\$3,452,078.32	\$22,026,560.28
Costo de infraestructura=	\$163,913,907.78	\$163,913,907.78
Costo de financiamiento=	\$38,051,358.52	\$38,051,358.52
Costo total de inversión=	\$201,965,266.30	\$201,965,266.30
% Ahorros (pesos – km) vs Financiamiento=	9.07%	57.89%

En la tabla 134 se muestra que el costo promedio por kilómetro disminuye \$0.57 al considerar los NCGO y \$3.61 en comparación con el COB en condiciones óptimas. En este tramo, los beneficios totales para los usuarios, derivados de los ahorros en costos generalizados, ascienden a \$3.45 MDP y \$22.03 MDP, según el criterio de referencia. Aunque estos beneficios justifican el costo de financiamiento (\$38.05 millones), la recuperación es más lenta debido al menor volumen de tráfico vehicular, estimado en 2.15 millones de vehículos al año.

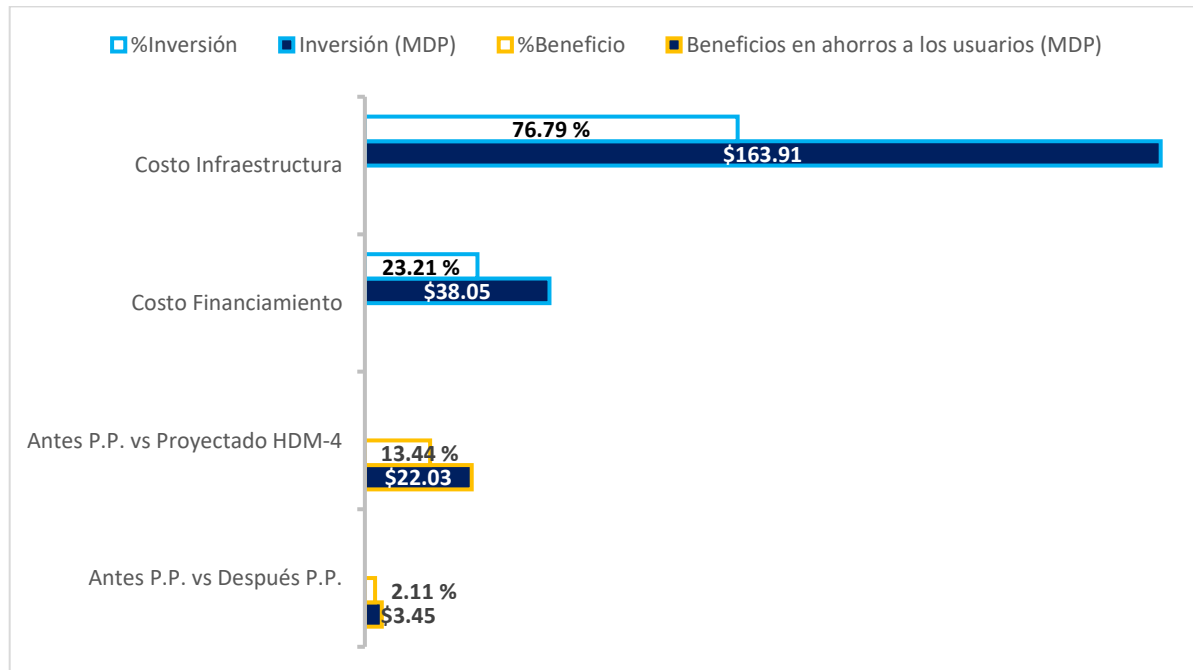


Ilustración 116 Relación de inversión y beneficios, Zacapu – Villachuato.

4. Puruándiro – Pastor Ortiz

Para este tramo carretero, se contó con un IRI promedio medido antes de la puesta a punto de 4.55 m/km, un IRI estimado después de la puesta a punto de 3.5 m/km y un IRI proyectado de 2 m/km para la etapa de conservación, este último obtenido mediante el análisis realizado con el software HDM-4. El análisis se muestra en la tabla 135. El análisis se realizó considerando un terreno tipo montañoso.

Tabla 135. Análisis de costos de operación, Puruándiro – Pastor Ortiz.

Tipo de Vehículo	Clasificación	Comp. Vehicular (%)	COB (pesos, veh - km)	COCV (pesos, veh - km)	CGO (pesos - km)	FCOB Antes P.P.	FCOB Después P.P.	COB Ajustado		Nuevo CGO	
								(pesos, veh - km) Antes P.P.	(pesos, veh - km) Después P.P.	(pesos - km) Antes P.P.	(pesos - km) Después P.P.
Autos	A	93.89%	\$6.57	\$6.17	\$7.15	1.41	1.35	\$8.70	\$8.33	\$10.60	\$10.20
Autobuses	B	1.66%	\$17.39	\$0.29		1.82	1.80	\$0.53	\$0.52		
Camiones	C2	1.86%	\$11.01	\$0.20		1.92	1.87	\$0.39	\$0.38		
	C3	1.32%	\$15.11	\$0.20		2.02	1.98	\$0.40	\$0.39		
Tractocamiones	T3-S2	0.40%	\$19.94	\$0.08		1.89	1.85	\$0.15	\$0.15		
	T3-S3	0.60%	\$22.65	\$0.14		2.01	1.97	\$0.27	\$0.27		
	T3-S2-R4	0.26%	\$28.18	\$0.07		2.18	2.14	\$0.16	\$0.16		

En la tabla 135 se observa un costo de operación generalizado para un IRI de 2 m/km de \$7.15, así como costos de operación base ajustados de \$10.60 y \$10.20 correspondientes a los valores de IRI de 4.55 y 3.5 m/km, respectivamente (Ilustración 117). Con estos costos de operación se realizó el análisis comparativo: Beneficio vs Costos de financiamiento, infraestructura e inversión total, los cuales se muestran en la tabla 136 y en la ilustración 118 se muestra la relación entre los costos de inversión y los ahorros en beneficios a los usuarios.

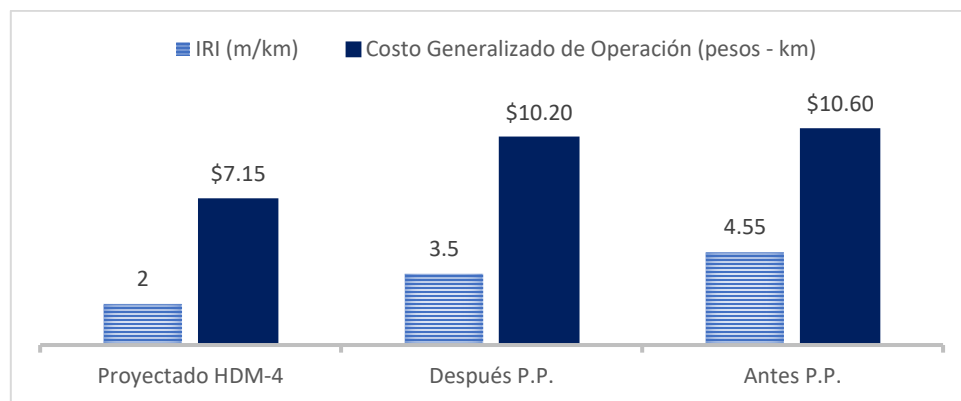


Ilustración 117. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, Puruándiro – Pastor Ortiz.

Tabla 136. Beneficios vs Costos de financiamiento, Puruándiro – Pastor Ortiz.

Análisis IRI	Antes P.P. vs Después P.P.	Antes P.P. vs Proyectado HDM-4
TDPA (Veh/día) =	1,608	1,608
Volumen (Veh/año) =	586,920	586,920
Costo por transitar en caminos sin rehabilitar (pesos-km) =	\$10.60	\$10.60
Costo por transitar en caminos intervenidos (pesos-km) =	\$10.20	\$7.15
Ahorro por costo generalizado (pesos-km) =	\$0.41	\$3.45
Ahorros anuales (pesos-km) =	\$239,463.26	\$2,027,439.88
Duración etapa de conservación (meses) =	34	34
Beneficios totales cuantificados en ahorros a los usuarios (pesos-km)=	\$678,479.23	\$5,744,412.98
Costo de infraestructura=	\$93,971,719.37	\$93,971,719.37
Costo de financiamiento=	\$21,814,815.07	\$21,814,815.07
Costo total de inversión=	\$115,786,534.44	\$115,786,534.44
% Ahorros (pesos – km) vs Financiamiento=	3.11%	26.33%

En la tabla 136 se muestra que el costo promedio por kilómetro disminuye \$0.41 al considerar los NCGO y \$3.45 en comparación con el COB en condiciones óptimas. En este tramo, los beneficios totales para los usuarios, derivados de los ahorros en costos generalizados, ascienden a \$0.68 MDP y \$5.74 MDP, según el criterio de referencia. Aunque estos beneficios justifican el costo de financiamiento (\$21.81 millones), la recuperación es más lenta debido al menor volumen de tráfico vehicular, estimado en 0.59 millones de vehículos al año.

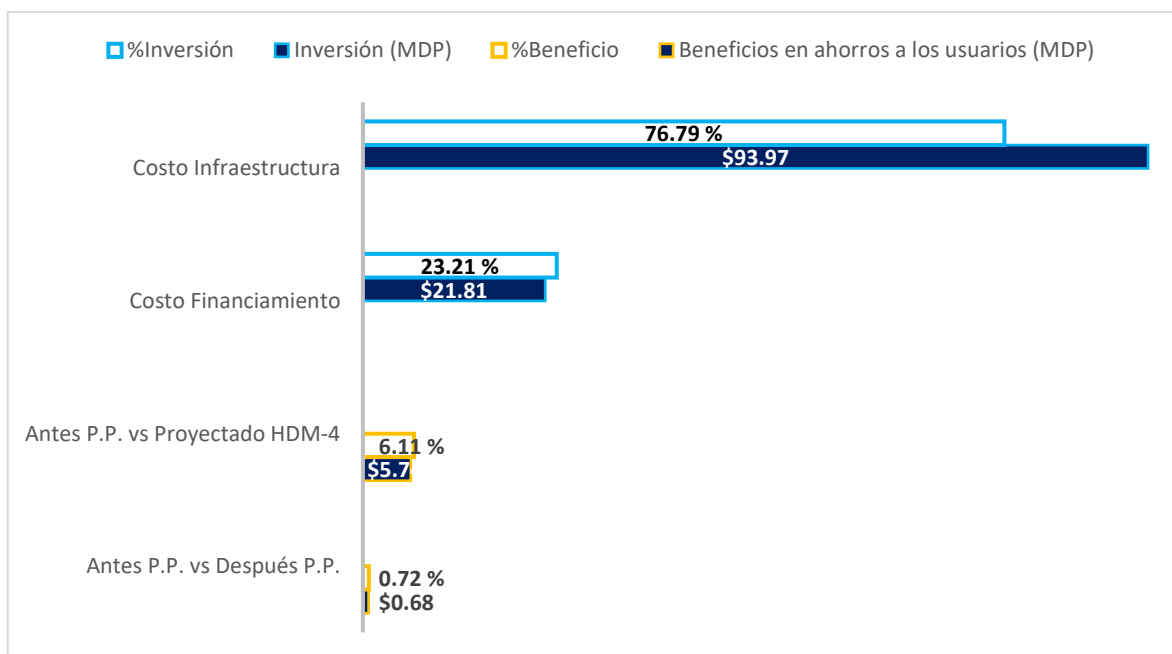


Ilustración 118. Relación de inversión y beneficios, Puruándiro – Pastor Ortiz.

5. Erongarícuaro – La Zarzamora – Franco Reyes.

Para este tramo carretero, se contó con un IRI promedio medido antes de la puesta a punto de 6.22 m/km, un IRI estimado después de la puesta a punto de 3.5 m/km y un IRI proyectado de 2 m/km para la etapa de conservación, este último obtenido mediante el análisis realizado con el software HDM-4. El análisis se muestra en la tabla 137. El análisis se realizó considerando un terreno tipo montañoso.

Tabla 137. Análisis de costos de operación, Erongarícuaro – La Zarzamora – Franco Reyes.

Tipo de Vehículo	Clasificación	Comp. Vehicular (%)	COB (pesos, veh - km)	COCV (pesos, veh - km)	CGO (pesos - km)	FCOB Antes P.P.	FCOB Después P.P.	COB Ajustado		Nuevo CGO	
								(pesos, veh - km) Antes P.P.	(pesos, veh - km) Después P.P.	(pesos - km) Antes P.P.	(pesos - km) Después P.P.
Autos	A	93.89%	\$6.57	\$6.17	\$7.15	1.47	1.35	\$9.07	\$8.33	\$11.04	\$10.20
Autobuses	B	1.66%	\$17.39	\$0.29		1.86	1.80	\$0.54	\$0.52		
Camiones	C2	1.86%	\$11.01	\$0.20		2.01	1.87	\$0.41	\$0.38		
	C3	1.32%	\$15.11	\$0.20		2.08	1.98	\$0.41	\$0.39		
Tractocamiones	T3-S2	0.40%	\$19.94	\$0.08		1.96	1.85	\$0.16	\$0.15		
	T3-S3	0.60%	\$22.65	\$0.14		2.08	1.97	\$0.28	\$0.27		
	T3-S2-R4	0.26%	\$28.18	\$0.07		2.25	2.14	\$0.16	\$0.16		

En la tabla 137 se observa un costo de operación generalizado para un IRI de 2 m/km de \$7.15, así como costos de operación base ajustados de \$11.04 y \$10.20 correspondientes a los valores de IRI de 6.22 y 3.5 m/km, respectivamente (Ilustración 119). Con estos costos de operación se realizó el análisis comparativo: Beneficio vs Costos de financiamiento, infraestructura e inversión total, los cuales se muestran en la tabla 138 y en la ilustración 120 se muestra la relación entre los costos de inversión y los ahorros en beneficios a los usuarios.

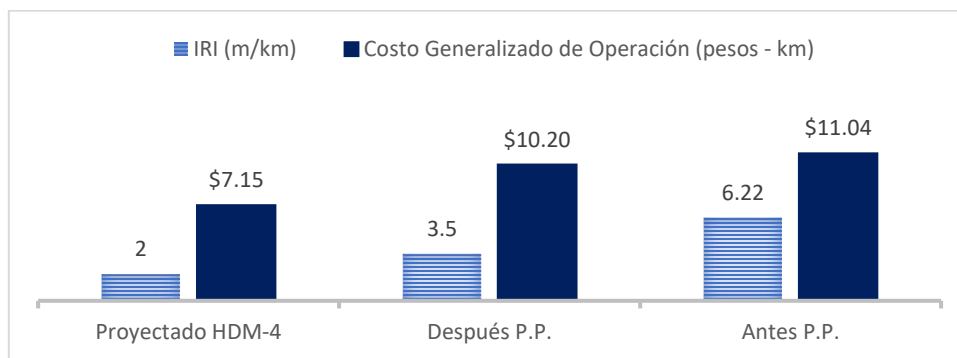


Ilustración 119. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, Erongarícuaro – La Zarzamora – Franco Reyes.

Tabla 138. Beneficios vs Costos de financiamiento, Erongarícuaro – La Zarzamora – Franco Reyes.

Análisis IRI	Antes P.P. vs Después P.P.	Antes P.P. vs Proyectado HDM-4
TDPA (Veh/día) =	957	957
Volumen (Veh/año) =	349,305	349,305
Costo por transitar en caminos sin rehabilitar (pesos-km) =	\$11.04	\$11.04
Costo por transitar en caminos intervenidos (pesos-km) =	\$10.20	\$7.15
Ahorro por costo generalizado (pesos-km) =	\$0.84	\$3.88
Ahorros anuales (pesos-km) =	\$292,855.55	\$1,356,968.50
Duración etapa de conservación (meses) =	34	34
Beneficios totales cuantificados en ahorros a los usuarios (pesos-km)=	\$829,757.40	\$3,844,744.09
Costo de infraestructura=	\$68,689,470.57	\$68,689,470.57
Costo de financiamiento=	\$15,945,734.61	\$15,945,734.61
Costo total de inversión=	\$84,635,205.18	\$84,635,205.18
% Ahorros (pesos – km) vs Financiamiento=	5.20%	24.11%

En la tabla 138 se muestra que el costo promedio por kilómetro disminuye \$0.84 al considerar los NCGO y \$3.88 en comparación con el COB en condiciones óptimas. En este tramo, los beneficios totales para los usuarios, derivados de los ahorros en costos generalizados, ascienden a \$0.83 MDP y \$3.84 MDP, según el criterio de referencia. Aunque estos beneficios justifican el costo de financiamiento (\$15.95 millones), la recuperación es más lenta debido al menor volumen de tráfico vehicular, estimado en 0.35 millones de vehículos al año.

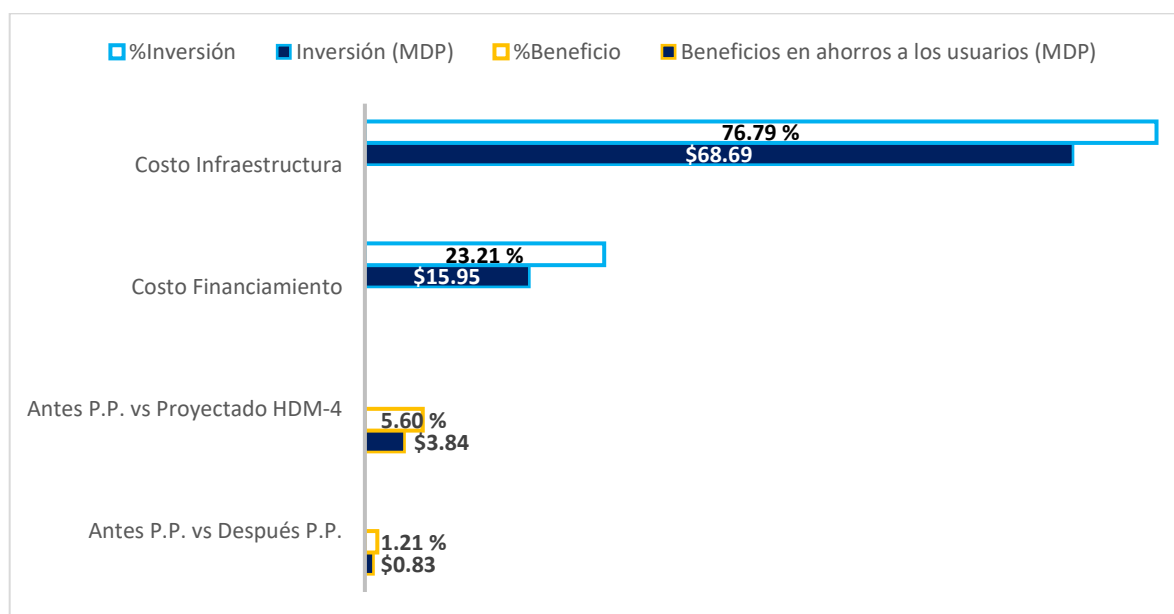


Ilustración 120. Relación de inversión y beneficios, Erongarícuaro – La Zarzamora – Franco Reyes.

- **Análisis de costos de operación - Grupo 5B**

6. E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta

En este tramo carretero, el IRI promedio antes de la puesta a punto fue de 7.34 m/km, estimado en 3.5 m/km después de la intervención y proyectado en 2 m/km para la etapa de conservación, según el análisis con el software HDM-4. Los resultados se muestran en la tabla 139, considerando un terreno tipo lomerío.

Tabla 139. Análisis de costos de operación, (Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.

Tipo de Vehículo	Clasificación	Comp. Vehicular (%)	COB (pesos, veh - km)	COCV (pesos, veh - km)	CGO (pesos - km)	FCOB Antes P.P.	FCOB Después P.P.	COB Ajustado		Nuevo CGO	
								(pesos, veh - km) Antes P.P.	(pesos, veh - km) Después P.P.	(pesos - km) Antes P.P.	(pesos - km) Después P.P.
Autos	A	93.89%	\$6.57	\$6.17	\$7.15	1.37	1.22	\$8.47	\$7.49	\$10.11	\$8.99
Autobuses	B	1.66%	\$17.39	\$0.29		1.56	1.47	\$0.45	\$0.42		
Camiones	C2	1.86%	\$11.01	\$0.20		1.69	1.50	\$0.35	\$0.31		
	C3	1.32%	\$15.11	\$0.20		1.71	1.57	\$0.34	\$0.31		
Tractocamiones	T3-S2	0.40%	\$19.94	\$0.08		1.67	1.50	\$0.13	\$0.12		
	T3-S3	0.60%	\$22.65	\$0.14		1.73	1.57	\$0.24	\$0.21		
	T3-S2-R4	0.26%	\$28.18	\$0.07		1.81	1.66	\$0.13	\$0.12		

En la tabla 139 se presenta un costo de operación generalizado de \$7.15 para un IRI de 2 m/km, y costos ajustados de \$10.11 y \$8.99 para un IRI de 7.34 y 3.5 m/km, respectivamente (Ilustración 121). Estos valores se utilizaron para el análisis comparativo de beneficios frente a costos de financiamiento, infraestructura e inversión total, cuyos resultados se detallan en la tabla 140. La relación entre los costos de inversión y los ahorros para los usuarios se ilustra en la figura 122.

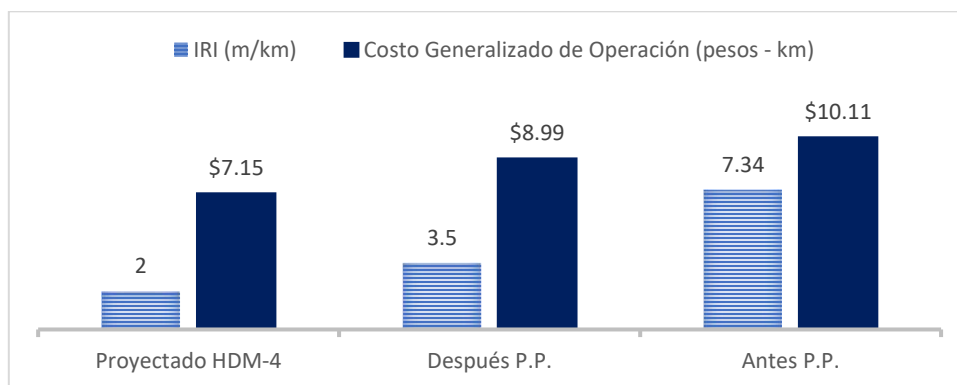


Ilustración 121. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, (Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.

Tabla 140. Beneficios vs Costos de financiamiento, (Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.

Análisis IRI	Antes P.P. vs Después P.P.	Antes P.P. vs Proyectado HDM-4
TDPA (Veh/día) =	2,784	2,784
Volumen (Veh/año) =	1,016,160	1,016,160
Costo por transitar en caminos sin rehabilitar (pesos-km) =	\$10.11	\$10.11
Costo por transitar en caminos intervenidos (pesos-km) =	\$8.99	\$7.15
Ahorro por costo generalizado (pesos-km) =	\$1.12	\$2.96
Ahorros anuales (pesos-km) =	\$1,134,888.34	\$3,008,038.44
Duración etapa de conservación (meses) =	34	34
Beneficios totales cuantificados en ahorros a los usuarios (pesos-km)=	\$3,215,516.97	\$8,522,775.58
Costo de infraestructura=	\$56,742,232.98	\$56,742,232.98
Costo de financiamiento=	\$13,172,274.88	\$13,172,274.88
Costo total de inversión=	\$69,914,507.86	\$69,914,507.86
% Ahorros (pesos – km) vs Financiamiento=	24.41%	64.70%

En la tabla 140 se muestra que el costo promedio por kilómetro disminuye \$1.12 al considerar los NCGO y \$2.96 en comparación con el COB en condiciones óptimas. En este tramo, los beneficios totales para los usuarios, derivados de los ahorros en costos generalizados, ascienden a \$3.22 MDP y \$8.52 MDP, según el criterio de referencia. Aunque estos beneficios justifican el costo de financiamiento (\$13.17 millones), la recuperación es más lenta debido al menor volumen de tráfico vehicular, estimado en 1.02 millones de vehículos al año.

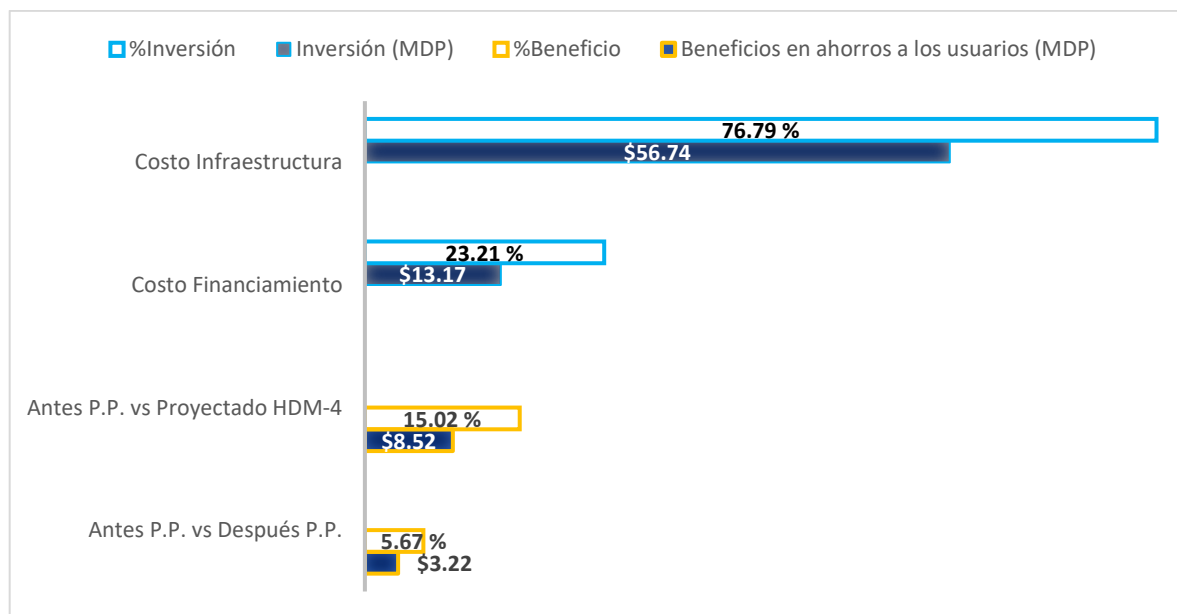


Ilustración 122. Relación de inversión y beneficios, (Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta.

7. Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo

En este tramo carretero, el IRI promedio antes de la puesta a punto fue de 4.38 m/km, estimado en 3.5 m/km después de la intervención y proyectado en 2 m/km para la etapa de conservación, según el análisis con el software HDM-4. Los resultados se muestran en la tabla 141, considerando un terreno tipo montañoso.

Tabla 141. Análisis de costos de operación, Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.

Tipo de Vehículo	Clasificación	Comp. Vehicular (%)	COB (pesos, veh - km)	COCV (pesos, veh - km)	CGO (pesos - km)	FCOB Antes P.P.	FCOB Después P.P.	COB Ajustado		Nuevo CGO	
								(pesos, veh - km) Antes P.P.	(pesos, veh - km) Después P.P.	(pesos - km) Antes P.P.	(pesos - km) Después P.P.
Autos	A	93.89%	\$6.57	\$6.17	\$7.15	1.40	1.36	\$8.64	\$8.36	\$10.54	\$10.23
Autobuses	B	1.66%	\$17.39	\$0.29		1.82	1.80	\$0.53	\$0.52		
Camiones	C2	1.86%	\$11.01	\$0.20		1.91	1.87	\$0.39	\$0.38		
	C3	1.32%	\$15.11	\$0.20		2.01	1.98	\$0.40	\$0.39		
Tractocamiones	T3-S2	0.40%	\$19.94	\$0.08		1.89	1.85	\$0.15	\$0.15		
	T3-S3	0.60%	\$22.65	\$0.14		2.01	1.97	\$0.27	\$0.27		
	T3-S2-R4	0.26%	\$28.18	\$0.07		2.18	2.14	\$0.16	\$0.16		

En la tabla 141 se presenta un costo de operación generalizado de \$7.15 para un IRI de 2 m/km, y costos ajustados de \$10.54 y \$10.23 para un IRI de 4.38 y 3.5 m/km, respectivamente (Ilustración 123). Estos valores se utilizaron para el análisis comparativo de beneficios frente a costos de financiamiento, infraestructura e inversión total, cuyos resultados se detallan en la tabla 142. La relación entre los costos de inversión y los ahorros para los usuarios se ilustra en la figura 124.

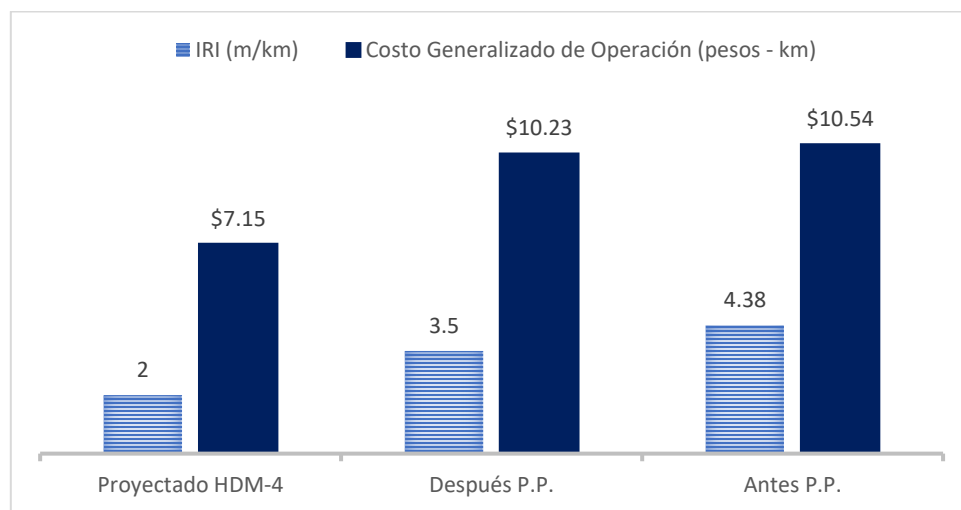


Ilustración 123. Relación entre el IRI y los costos de operación vehicular, Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.

Tabla 142. Beneficios vs Costos de financiamiento, Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.

Análisis IRI	Antes P.P. vs Después P.P.	Antes P.P. vs Proyectado HDM-4
TDPA (Veh/día) =	3,928	3,928
Volumen (Veh/año) =	1,433,720	1,433,720
Costo por transitar en caminos sin rehabilitar (pesos-km) =	\$10.54	\$10.54
Costo por transitar en caminos intervenidos (pesos-km) =	\$10.23	\$7.15
Ahorro por costo generalizado (pesos-km) =	\$0.31	\$3.39
Ahorros anuales (pesos-km) =	\$443,559.48	\$4,855,423.89
Duración etapa de conservación (meses) =	34	34
Beneficios totales cuantificados en ahorros a los usuarios (pesos-km)=	\$1,256,751.87	\$13,757,034.34
Costo de infraestructura=	\$311,734,714.42	\$311,734,714.42
Costo de financiamiento=	\$72,366,826.86	\$72,366,826.86
Costo total de inversión=	\$384,101,541.28	\$384,101,541.28
% Ahorros (pesos – km) vs Financiamiento=	1.74%	19.01%

En la tabla 142 se muestra que el costo promedio por kilómetro disminuye \$0.31 al considerar los NCGO y \$3.39 en comparación con el COB en condiciones óptimas. En este tramo, los beneficios totales para los usuarios, derivados de los ahorros en costos generalizados, ascienden a \$1.26 MDP y \$13.76 MDP, según el criterio de referencia. Aunque estos beneficios justifican el costo de financiamiento (\$72.37 millones), la recuperación es más lenta debido al menor volumen de tráfico vehicular, estimado en 1.43 millones de vehículos al año.

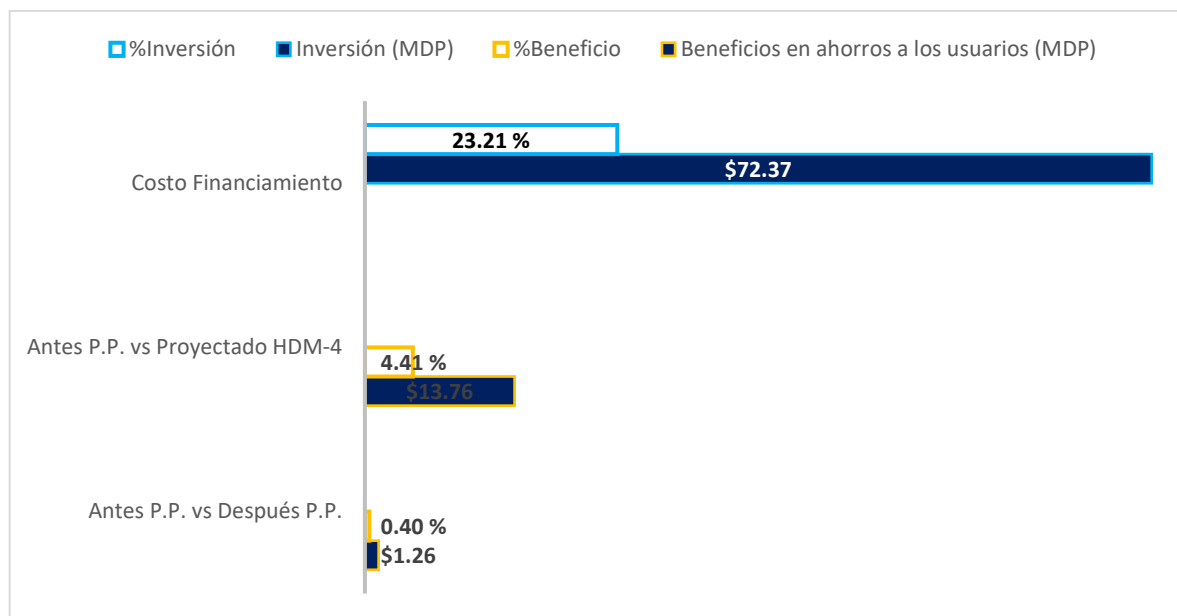


Ilustración 124. Relación de inversión y beneficios, Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo.

5.2 Interpretación de resultados

En este apartado se interpretan los resultados de los análisis realizados a los tramos carreteros estudiados, con el fin de evaluar el impacto de la conservación y rehabilitación de los mismos. Se han considerado cinco áreas principales: evaluación, diagnóstico y propuestas de solución con el HDM-4, análisis de tránsito, condición estructural del pavimento (deflexiones), estado físico del pavimento (IRI) y costos de operación vehicular. A través de estos análisis, se busca comprender el comportamiento de los tramos y los beneficios que se derivan de las intervenciones de rehabilitación.

5.2.1 Evaluación, diagnóstico y propuestas de solución con el HDM-4

En el apartado “Evaluación y diagnóstico” se puede observar en el reporte fotográfico los daños y deterioros observados en los activos viales en estudio. La evaluación inicial y diagnóstico realizado permitieron identificar las principales deficiencias estructurales y funcionales de los tramos carreteros, estableciendo la base para proponer soluciones adecuadas. En la tabla 143 se muestra un resumen de las TIR y principales propuestas por tramo evaluado (HDM-4).

Esta tabla consolida los resultados clave de las propuestas del HDM-4, mostrando una alineación entre las necesidades estructurales y funcionales y las expectativas de rentabilidad de las intervenciones proyectadas.

Tabla 143. Resumen de TIR y Principales Propuestas por Tramo Evaluado (HDM-4)

Tramo	TIR Promedio (%)	Actividad	Propuestas Predominantes	Cantidad de Segmentos Homogéneos Evaluados
Circuito Periférico de Morelia	566.2	Rehabilitación menor y conservación periódica	Fresado 5 cm y carpeta 5 cm	4 de 15
Ramal Camelinas		Conservación periódica		
Zacapu - Villachuato	326.1	Rehabilitación mayor	Fresado 5 cm y carpeta 5 cm	7 de 9
Puruándiro - Pastor Ortiz	196.8	Rehabilitación mayor	Fresado 5 cm y carpeta 5 cm	3 de 3
Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes	176.1	Rehabilitación mayor	Fresado 5 cm y carpeta 5 cm	3 de 3
E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta	249.1	Rehabilitación mayor y reconstrucción	Fresado 5 cm y carpeta 5 cm	4 de 5
Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo	581.5	Rehabilitación mayor	Base espumada 10 cm y carpeta de 5 cm	12 de 12

5.2.2 Resultados del Análisis de Tránsito

En el análisis de tránsito, se evaluaron los tramos con el objetivo de determinar el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), las tasas de crecimiento vehicular y la composición vehicular.

Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)

El Circuito Periférico de Morelia mostró un TDPA significativamente mayor que los demás tramos, reflejando su rol como una vía de alto tránsito.

El Ramal Camelinas también presentó un TDPA considerablemente alto, lo que sugiere una tendencia al aumento del tráfico en esta área.

Los tramos Zacapu – Villachuato, Puruándiro - Pastor Ortiz, Erongarícuaro - La Zarzamora – Franco Reyes, E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta y Cuitzeo – Puruándiro – Zináparo, presentaron un TDPA más bajo, con un comportamiento más estable en términos de volumen vehicular.

Tasas de Crecimiento Vehicular

El análisis de tránsito mostró proyecciones claras del crecimiento vehicular en la mayoría de los tramos:

- Zacapu - Villachuato: Presenta una tasa de crecimiento moderada (4.09%), lo que refleja una tendencia positiva pero estable en el uso vehicular.
- Ramal Camelinas: Con un crecimiento del 4.17%, muestra una alta proporción de automóviles ligeros, lo que sugiere que es un tramo clave para el transporte urbano.
- En contraste, los tramos restantes presentan un crecimiento significativo, lo que sugiere un aumento en la relevancia económica de estas vías.

Respecto a la composición vehicular:

- En el Circuito Periférico de Morelia, la composición vehicular fue diversa, pero con una mayor presencia de vehículos ligeros debido al tipo de tráfico (tránsito interurbano).

- En el Ramal Camelinas, también se observó una alta proporción de vehículos pesados, lo cual podría generar un mayor desgaste de la infraestructura.
- Los tramos restantes mostraron una mayor proporción de vehículos ligeros, lo que podría generar un impacto menor en el pavimento.

En la tabla 144 se presentan los valores de TDPA para el año 2024 y las tasas de crecimiento vehicular por tramo.

Tabla 144. Resumen de TDPA y %TC

Grupo	Tramo	Longitud (km)	TDPA (2024)	% T.C.
5A	Circuito Periférico de Morelia	26	84021	5.16
	Ramal Camelinas	4.52	10680	4.17
	Zacapu - Villachuato	43.2	5900	4.09
	Puruándiro - Pastor Ortiz	40.88	1608	4.63
	Erongarícuaro - La Zaramora - Franco Reyes	29.2	957	5
5B	E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta	12.86	2784	5.72
	Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo	123.23	3928	6.53

5.2.3 Resultados del Análisis de Deflexiones

En el análisis de deflexiones, se evaluó la capacidad estructural de los tramos en estudio. Las mediciones mostraron los siguientes resultados:

- Circuito Periférico de Morelia: El tramo presentó deflexiones dentro de los límites normativos de 'buena' a 'regular', lo que sugiere que la estructura de pavimento está en condiciones razonablemente buenas, pero requiere monitoreo para evitar posibles deterioros.
- Ramal Camelinas: Similar al Circuito Periférico, el Ramal Camelinas mostró deflexiones aceptables, lo que indica que, su condición estructural es buena.
- Zacapu - Villachuato: Este tramo mostró deflexiones que se encontraban dentro de los valores normativos 'regulares', sin embargo, su valor promedio de deflexión indica una condición estructural “mala”.
- Puruándiro - Pastor Ortiz, Erongarícuaro - La Zaramora - Franco Reyes, E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta y Cuitzeo – Puruándiro -

Zináparo: Estos tramos presentaron deflexiones significativamente superiores a los valores normativos, lo que indica que la capacidad estructural del pavimento es deficiente, clasificando la condición estructural de estos tramos como 'mala'.

En la tabla 145 se presenta un resumen de los valores promedio de deflexiones y condición estructural por tramo.

5.2.4 Resultados del Análisis de IRI

El análisis del Índice de Regularidad Internacional (IRI) revela que, según los parámetros normativos, la mayoría de los tramos evaluados se encuentran en estado "Malo", excepto el Ramal Camelinas, que presenta un estado "Aceptable". De acuerdo con las especificaciones, tres tramos presentan un estado "Malo", dos "Aceptable" y uno "Buena". El resumen de estos resultados se presenta en la tabla 145.

Tabla 145. Resumen Deflexiones e IRI promedio por tramo.

Tramo	IRI (mm) Antes de Puesta a Punto	Estado IRI		Deflexión (D0) promedio (mm)	Condición Estructural - Deflexión (Norma)
		Especificación	Norma		
Circuito Periférico de Morelia	4.61	Aceptable	Malo	0.55	Regular
Ramal Camelinas	3.24	Buena	Aceptable	0.36	Buena
Zacapu - Villachuato	5.05	Malo	Malo	0.81	Mala
Puruándiro - Pastor Ortiz	4.55	Aceptable	Malo	1.50	Mala
Erongarícuaro - La Zaramora - Franco Reyes	6.22	Malo	Malo	1.40	Mala
E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta	7.34	Malo	Malo	1.20	Mala
Cuitzeo – Puruándiro - Zináparo	4.38	Aceptable	Malo	1.02	Mala

La correlación entre las mediciones de deflexiones y los valores de IRI evidencia que los tramos con alta variabilidad en las deflexiones también presentan mayores valores de IRI, indicando irregularidades en la superficie del pavimento. Esta relación destaca la importancia de intervenciones consistentes en materiales y diseño estructural.

5.2.5 Resultados del Análisis de Costos de Operación

El análisis de costos de operación ha permitido cuantificar los beneficios económicos en términos de ahorros totales para los usuarios de los tramos carreteros, tomando en cuenta la longitud de cada tramo intervenido. Con esta

metodología, se ha logrado visualizar de manera más precisa el impacto económico de las intervenciones realizadas durante la etapa de puesta a punto.

Resultados para el caso del IRI estimado después de la puesta a punto (IRI = 3.5 m/km)

- Se calcularon los ahorros totales considerando el producto de los ahorros por kilómetro con la longitud total de cada tramo, los resultados se muestran en la tabla 146.

Tabla 146. Comparación de Ahorros vs Inversión por Tramo

Tramo	Longitud (km)	Ahorros (MDP - km)	Ahorros Totales (MDP)	Costos de Financiamiento (MDP)	Costos de Infraestructura (MDP)	Costo Total de Inversión	Relación Beneficio/Costo
Circuito Periférico de Morelia	26	\$39.17	\$1,018.32	\$36.70	\$158.09	\$194.79	5.23
Ramal Camelinas	4.52	\$5.54	\$25.05	\$3.60	\$15.51	\$19.10	1.31
Zacapu - Villachuato	43.2	\$3.45	\$149.13	\$38.05	\$163.91	\$201.97	0.74
Puruándiro - Pastor Ortiz	40.88	\$0.68	\$27.74	\$21.81	\$93.97	\$115.79	0.24
Erongarícuaro - La Zarzamora - Franco Reyes	29.2	\$0.83	\$24.23	\$15.95	\$68.69	\$84.64	0.29
E.C.(Morelia- Jiquilpan) - Coíntzio - La Huerta	12.86	\$3.22	\$41.35	\$13.17	\$56.74	\$69.91	0.59
Cuitzeo – Puruándiro - Zinápapo	123.23	\$1.26	\$154.87	\$72.37	\$311.73	\$384.10	0.40
Totales=	279.89	\$54.14	\$1,440.68	\$201.65	\$868.65	\$1,070.30	8.80

- Los resultados destacan que los tramos con mayor longitud y tránsito vehicular presentan los mayores beneficios económicos en términos absolutos.

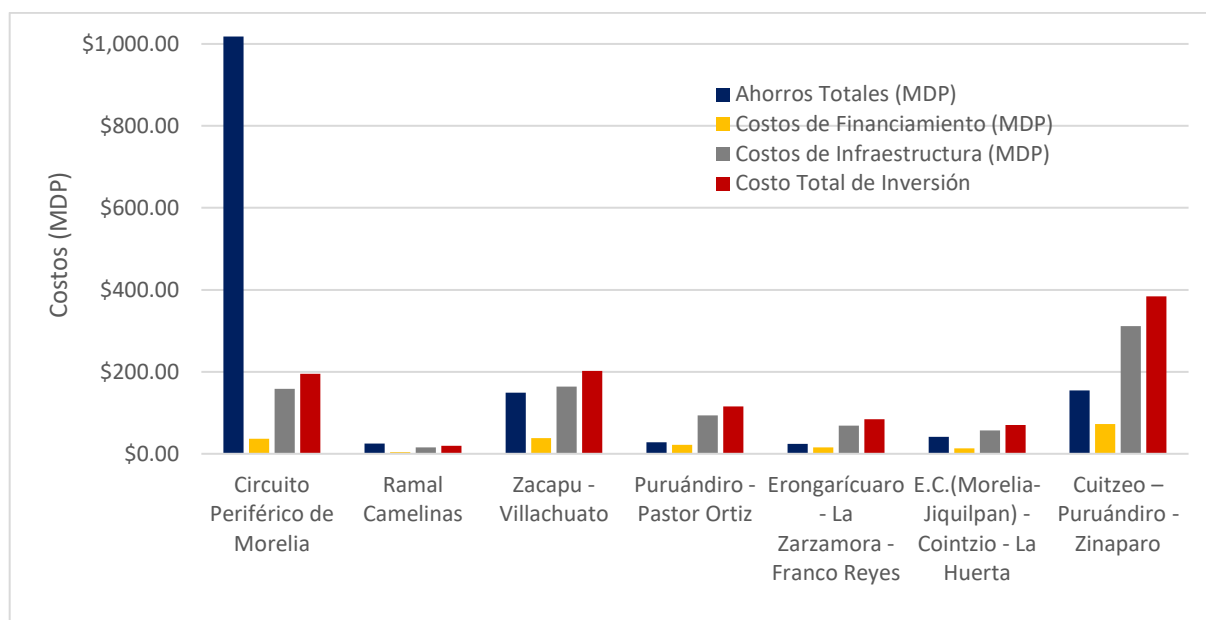


Ilustración 125. Comparativa de Costos y Ahorros por Tramo Carretero

- En la ilustración 125 y 126 se presenta una comparativa de Costos y Ahorros por Tramo Carretero donde se muestra de manera visual los ahorros totales obtenidos para cada tramo, destacando la relación beneficio – costo, evidenciando que los beneficios superan los costos de financiamiento, infraestructura y en algunos casos los costos de inversión.

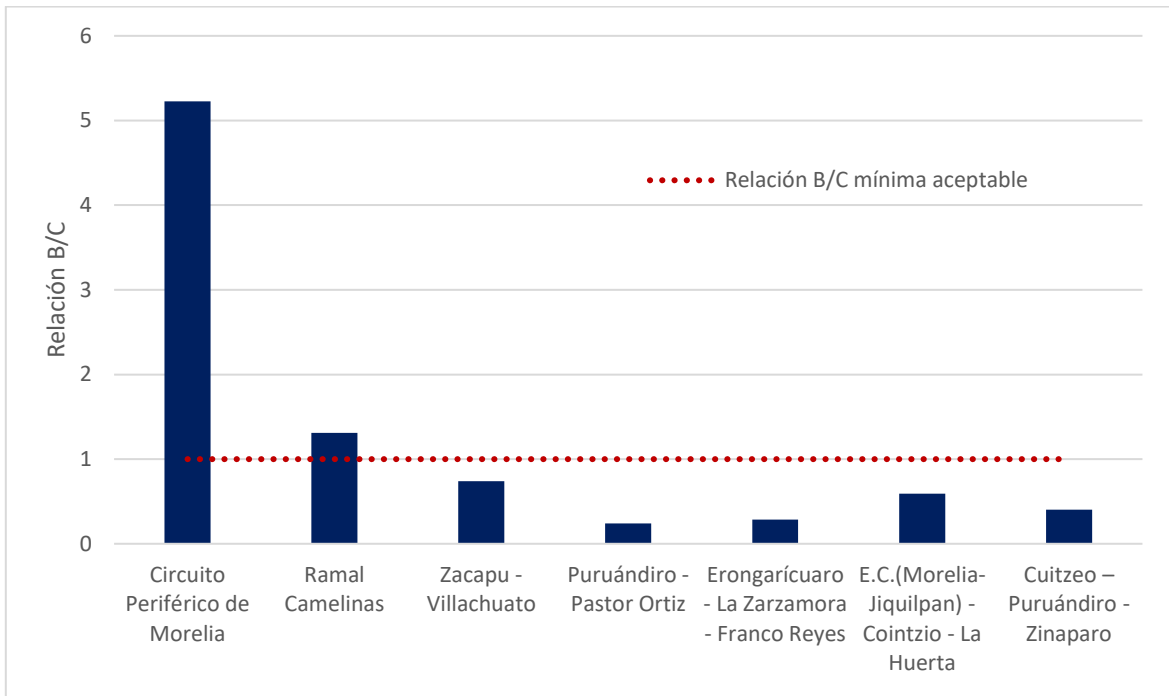


Ilustración 126. Relación Beneficio - Costo (B/C) por tramo

Para el caso del IRI proyectado con el HDM-4 (IRI = 2 m/km), los ahorros totales a los usuarios son significativamente superiores, ya que un IRI más bajo representa condiciones óptimas de rodadura y menores costos de operación vehicular. Este escenario muestra valores mucho más altos en la relación Beneficio-Costo (B/C) por tramo, reflejando una notable eficiencia económica al alcanzar un mejor estado funcional de los tramos carreteros.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Revisión del estado del arte y marco teórico.

El esquema multianual de conservación vial presenta ventajas significativas frente a otros modelos de contratación. Entre sus principales beneficios destacan:

- **Sostenibilidad financiera a largo plazo:** El esquema multianual es ventajoso porque permite al Estado planificar y ejecutar proyectos a largo plazo sin generar una carga financiera inmediata, como sucede con las concesiones o contratos de APP, que pueden implicar grandes inversiones iniciales.
- **Reducción de costos operativos:** El mantenimiento continuo de las carreteras dentro de este esquema garantiza que los costos de operación vehicular se mantengan bajos para los usuarios, en comparación con esquemas como el de los contratos de mantenimiento, que podrían no ser tan eficientes a largo plazo si no se mantienen intervenciones periódicas.
- **Mejor planificación y ejecución de proyectos:** Al trascender el año fiscal, el esquema multianual permite que los proyectos se gestionen de manera más estable y eficiente. En cambio, otros esquemas, como los contratos de rehabilitación o los mantenedores, pueden enfrentar restricciones de tiempo y presupuesto a corto plazo que afectan la calidad de los trabajos.
- **Menor dependencia de financiaciones externas:** A diferencia de las asociaciones público-privadas (APP), que a menudo dependen de fondos privados, el esquema multianual está diseñado para financiarse con recursos públicos, lo que puede ofrecer mayor control y menor riesgo económico para el Estado.

6.2 Evaluación del estado físico inicial

El análisis del estado físico inicial de los tramos, basado en el IRI y las deflexiones, mostró un porcentaje significativo de daños en varios tramos carreteros. Esto

confirma la necesidad de implementar intervenciones para restaurar la funcionalidad estructural y garantizar condiciones óptimas de rodadura. Los valores iniciales de IRI identificaron tramos en estado regular y malo, destacando la importancia de priorizar la rehabilitación en aquellos con mayor deterioro estructural.

6.3 Análisis de tránsito

El análisis de tránsito permitió calcular el TDPA, la tasa de crecimiento vehicular y la composición vehicular, parámetros esenciales para evaluar los costos de operación vehicular.

6.4 Costos de operación vehicular

Los costos de operación vehicular muestran una reducción significativa cuando las carreteras se encuentran en condiciones óptimas. Los tramos como el Circuito Periférico de Morelia, con una relación B/C de 5.23, reflejan un claro beneficio económico para los usuarios. Sin embargo, otros tramos como Puruándiro-Pastor Ortiz presentan relaciones B/C bajas debido, principalmente, al volumen de tránsito vehicular

6.5 Costos de infraestructura y financiamiento

El análisis evidenció que los costos de infraestructura y financiamiento son elevados en algunos tramos con menor rentabilidad. Sin embargo, al considerar los ahorros totales proyectados para los usuarios, el programa es financieramente viable en su conjunto. Los resultados respaldan la efectividad y eficiencia del esquema multianual como estrategia para garantizar una infraestructura vial funcional.

6.6 Áreas de oportunidad

El análisis identifica áreas de oportunidad en los tramos con una relación B/C baja, lo cual sugiere la necesidad de explorar nuevas alternativas de solución que optimicen las áreas a intervenir, reduciendo los costos de infraestructura. Una selección más precisa de las alternativas de rehabilitación podría equilibrar los costos de inversión con los beneficios esperados, maximizando la rentabilidad del programa.

Además, se recomienda mejorar la configuración y parametrización del modelo HDM-4, especialmente en la etapa de simulación de escenarios y proyección de costos de operación vehicular. Incorporar datos más detallados sobre el tránsito, la composición vehicular y los costos asociados permitiría afinar las predicciones del modelo, logrando una mayor precisión en la estimación de beneficios y costos. De igual forma, integrar datos históricos y reales de desempeño de tramos con características similares, y ajustar los valores normativos a las condiciones locales, podría enriquecer las proyecciones y facilitar una toma de decisiones más robusta.

6.7 Recomendaciones

Se recomienda considerar estudios futuros que analicen la reducción de emisiones contaminantes derivada de mejoras en la calidad de los caminos y la reducción de tiempos de viaje. Aunque este análisis no se incluyó en el presente estudio, se reconoce su importancia en el contexto ambiental y económico.

6.8 Conclusión General

El análisis realizado valida la hipótesis de que las intervenciones realizadas durante la etapa de puesta a punto mejoran los índices de desempeño de los tramos carreteros, reducen los costos de operación vehicular y aumentan la durabilidad de la infraestructura vial. Los resultados obtenidos demuestran un impacto positivo en parámetros clave, como el Índice de Regularidad Internacional (IRI), que en todos los tramos analizados se proyecta cumplir con el estándar de conservación de 3.5 o menos, lo cual representa una mejora significativa frente a las condiciones iniciales. Además, los ahorros económicos totales estimados para los usuarios alcanzaron \$1,440.68 millones de pesos, destacando la relación beneficio-costos (B/C) de 5.23 en tramos como el Circuito Periférico de Morelia, lo que evidencia la rentabilidad de las intervenciones.

La investigación también confirmó la eficacia del modelo HDM-4 como herramienta para la evaluación de alternativas de conservación y proyección de costos de operación, permitiendo una estimación confiable de los beneficios económicos y estructurales de las actividades realizadas. Sin embargo, los resultados también identificaron áreas de oportunidad en tramos con baja relación B/C, donde sería

posible ajustar estrategias para equilibrar los costos de infraestructura con los beneficios esperados, optimizando los recursos invertidos.

A pesar de estos hallazgos, el estudio se vio limitado por la falta de datos posteriores a las intervenciones, lo que restringió la validación de los resultados proyectados. Se recomienda realizar estudios complementarios para confirmar estos hallazgos y ampliar el análisis hacia beneficios ambientales y sociales asociados al programa.

7. REFERENCIAS

- Asociación Mundial de la Carretera. (2014). *Importancia de la Conservación de Carreteras*. Francia: SETRA.
- ASTM. (1996). *ASTM D4694 Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device*. ASTM.
- ASTM. (1996). *ASTM D5858 Calculating In Situ Equivalent Elastic Moduli of Pavement Materials Using*. ASTM.
- ASTM. (2003). *ASTM D4695 General Pavement Deflection Measurements*. ASTM.
- ASTM E950-98 . (1998). *Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference*. ASTM.
- Ávila Correa, R. (2006). *Aplicación del HDM-4 en la Gestión de la conservación de la carretera Jiquilpan - Límites de Michoacán y Jalisco*. Morelia: UMSNH.
- BANOBRAS. (2019). *MANTENIMIENTO, REHABILITACIÓN Y OPERACIÓN DE LAS AUTOPISTAS Y PUENTE QUE INTEGRAN EL PAQUETE NORESTE CONCESIONADO AL FONDO NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA*. México: BANOBRAS.
- BANOBRAS. (2020). *MANTENIMIENTO, REHABILITACIÓN Y OPERACIÓN DE LAS AUTOPISTAS Y PUENTE QUE INTEGRAN EL PAQUETE SURESTE CONCESIONADO AL FONDO NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA*. México: BANOBRAS.
- Cal y Mayor. (2023). *Red de autopistas concesionadas en México*. (C. y.-M. Infraestructura, Ed.) México.
- CEFP/019/2007. (2007). *PROYECTOS PARA PRESTACIÓN DE SERVICIOS (PPS)*. (C. D. DIPUTADOS, H. C. Unión, & P. L. Lázaro, Edits.) México: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas.
- Dirección General de Conservación de Carreteras. (2011). *La conservación de carreteras en la actualidad*. México: SCT.
- Dirección General de Servicios Técnicos. (2024). *Datos Viales*. México: SICT.
- Escalante Sauri, C. (2000). *La experiencia reciente en la conservación de carreteras en México*. México: Academia Mexicana de Ingeniería.
- Escalante Sauri, C. (2007). *Experiencia Mexicana en la Conservación de Carreteras*. SCT.


- Ferreyra Pereyra, J. (2012). *ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIÓDICO EN UNA CARRETERA DEL PERÚ*. Lima: Universidad de Piura.
- Garnica Anguas, P., Arriaga Patiño, M., & Rico Rodríguez, A. (1998). *ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD EN LA RED CARRETERA DE MÉXICO*. Querétaro: IMT.
- Google. (2024). *Google Earth Pro*. Obtenido de <https://earth.google.com>
- IMT. (2019). Importancia de la regularidad superficial en las vías terrestres. *Publicación bimestral de divulgación externa, NOTAS núm. 177, MARZO-ABRIL 2019, artículo 2*.
- IMT P.T. No. 756. (2023). *Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2023*. IMT.
- Instituto Mexicano del Transporte. (2024). *IMT - Red Nacional de Caminos*. (IMT, Editor) Obtenido de <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>
- López Bustamante, G. (2016). *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*. Morelia, Michoacán, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- López Bustamante, G. (2023). *Auscultación de pavimentos*. AMAAC. Morelia: 2do Congreso Académico del Asfalto AMAAC 2023.
- MENDOZA DIAZ, A., DURAN HERNANDEZ, G., & MAYORAL GRAJEDA, E. (1998). *APLICACION DEL SIMAP A LA RED CARRETERA FEDERAL DEL ESTADO DE PUEBLA*. Querétaro: IMT.
- Moreno Fierros , F. (2013). *Experiencias sobre el uso de HDM-4 en contratos de conservación de largo plazo*. Alta Tecnología en Ingeniería de Pavimentos y S.V.
- N·CSV·CAR·1·03·001/24. (2024). Ejecución de Estudios de Evaluación de Pavimentos. Ciudad de México: SICT.
- N·CSV·CAR·1·03·007/20. (2020). Determinación del Coeficiente de Fricción (CF). México: SICT.
- N·CSV·CAR·1·03·008/23. (2023). Determinación de los Deterioros Superficiales de los Pavimentos (DET). México: SICT.
- N·CSV·CAR·1·03·009/16. (2016). Determinación de la Profundidad de Roderas (PR) . México: SICT.

- N-CSV-CAR-1-03-010/17. (2017). Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF). México: SICT.
- N-CSV-CAR-1-03-006/20. (2020). Determinación de la Macrotextura (MAC). México: SICT.
- N-CSV-CAR-1-03-004-21. (2021). Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI). México: SICT.
- PEPSA. (2023). *EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE PAVIMENTOS MEDIANTE ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO PARA EL DESARROLLO DE PLANES DE REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO, EN DIVERSOS TRAMOS DE LA RED CARRETERA ESTATAL*. Morelia, Michoacán, México: PEPSA.
- PIARC. (2024). *HDM-4 Software*. Obtenido de <https://www.piarc.org/es/PIARC-Base-Conocimiento-Carreteras-y-Transporte-Por-Carretera/Seguridad-Vial-Sostenibilidad/Gestion-Patrimonio-Vial/HDM-4-Software>
- R. Solorio. (2012). *Aspectos conceptuales de HDM-4*. IMT- Curso HDM-4 y su aplicación en el contexto de asociaciones público-privadas.
- Rico Rodríguez, A., Orozco y Orozco, J., Téllez Gutiérrez, R., & Pérez García, A. (1990). *PRIMERA FASE SISTEMA MEXICANO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LOS PAVIMENTOS (SIMAP)*. Querétaro: IMT.
- SCOP. (2023). *LICITACIONES PUBLICAS - CONVOCATORIA-ESTATAL-Nº-18*. MORELIA: GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO.
- SCOP. (2024). *Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas; Gobierno de Michoacán*. Obtenido de <https://scop.michoacan.gob.mx/>
- SCT. (2014). *Guía de Procedimientos y Técnicas para la Conservación de Carreteras en México*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- SICT. (2024). *Dirección General de Conservación de Carreteras*. (SCT, Editor) Obtenido de <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-conservacion-de-carreteras/antecedentes/>
- Simón Rojas, L. (2019). *Modelo de gestión de conservación vial para optimizar los costos de mantenimiento en la carretera Dv. Río Seco – Oyón, Año-2019*. Perú: Universidad Ricardo Palma.
- SOINVITSA. (2023). *EVALUACIÓN DE LA CAPA DE RODADURA PARA LOS INDICADORES DE DEFLEXIONES EN LOS TRAMOS CARRETEROS DEL GOBIERNO DE MICHOACÁN*. Soluciones e Ingeniería en Vías Terrestres S.A. de C.V.

- Solorio Murillo, J., Garnica Anguas, P., Montoya Ortega, M., & Hernández Domínguez, R. (2016). *Metodología basada en el HDM-4 para la selección de metas de desempeño en la red federal de carreteras*. Querétaro: IMT.
- Soto Espitia, R. (2023). *Auscultación de pavimentos rígidos*. (C. E. AMIVTAC, Ed.) Morelia, Michoacán, México.
- Villegas García, J. (2024). *Programa multianual de conservación de carreteras en Michoacán*. Morelia: SCOP.
- World Economic Forum. (2019). *The Global Competitiveness Report 2019*. World Economic Forum. Obtenido de <https://es.weforum.org/publications/global-competitiveness-report-2019/>

Víctor Manuel Báez Ángel

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS INTERVENCIONES DE LA ETAPA DE PUESTA A PUNTO EN TRAMOS CARRETEROS

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:428575765

Fecha de entrega

10 feb 2025, 8:51 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

10 feb 2025, 9:02 a.m. GMT-6

Nombre de archivo

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS INTERVENCIONES DE LA ETAPA DE PUESTA A PUNTO EN T....pdf

Tamaño de archivo

15.5 MB

249 Páginas




70,077 Palabras

316,337 Caracteres

12% Similitud general


El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 12%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
1624 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión

Programa educativo	Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres	
Título del trabajo	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS INTERVENCIONES DE LA ETAPA DE PUESTA A PUNTO EN TRAMOS CARRETEROS QUE FORMAN PARTE DEL PROGRAMA DE CONSERVACIÓN MULTIANUAL DE CARRETERAS DE MICHOACÁN	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Víctor Manuel Báez Ángel	1340123k@umich.mx
Director	Jorge Alarcón Ibarra	jorge.alarcon@umich.mx
Codirector		
Coordinador del programa	José Eleazar Arreygue Rocha	mae.infraestructura.transporte.vias.terrestres@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial

Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	no	-

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	si	Apoyo en la interpretación y traducción de artículos relacionados con el tema de investigación.
Traducción a otra lengua	si	En palabras clave del resumen de la investigación
Revisión y corrección de estilo	si	En la revisión de aspectos formales como la gramática, la ortografía y la puntuación.
Análisis de datos	no	-
Búsqueda y organización de información	si	Apoyo para búsqueda de artículos, libros y revistas relacionadas con el tema de investigación
Formateo de las referencias bibliográficas	no	-
Generación de contenido multimedia	no	-
Otro	no	-

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Victor Manuel Báez Ángel 
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán a 08 de febrero de 2025 