



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE INGENIERÍA
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN VÍAS TERRESTRES

APLICACIÓN DE UN MODELO DE ADMINISTRACIÓN
DE PAVIMENTOS EN EL ESTADO DE HIDALGO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA

ING. MARCO AURELIO NAVA LICONA

CHIHUAHUA, CHIH.

OCTUBRE/2016



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN VÍAS TERRESTRES

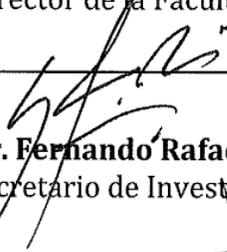
APLICACIÓN DE UN MODELO DE ADMINISTRACIÓN
DE PAVIMENTOS EN EL ESTADO DE HIDALGO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO EN MAESTRO DE INGENIERÍA

APROBADO:

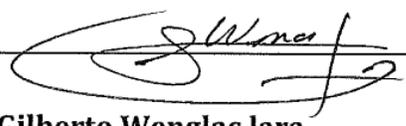
M.I. Javier González Cantú
Director de la Facultad de Ingeniería



Dr. Fernando Rafael Astorga Bustillos
Secretario de Investigación y Posgrado



M.I. José Antonio Portillo Ocegüera
Coordinador(a) Académico



Dr. Gilberto Wenglas Lara

OCTUBRE/2016
CHIHUAHUA, CHIH.

Derechos reservados
© Marco Aurelio Nava Licona
Facultad de Ingeniería
2016

Copyright ©

por

Marco Aurelio Nava Licona

2016

4 de octubre de 2016



ING. MARCO AURELIO NAVA LICONA

Presente

En atención a su solicitud relativa al trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por el director **Dr. Gilberto Wenglas Lara** para que lo desarrolle como tesis, con el título: **"APLICACIÓN DE UN MODELO DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS EN EL ESTADO DE HIDALGO"**.

ÍNDICE

Agradecimientos

Resumen

Índice de contenido

Índice de tablas

Índice de figuras

Introducción

Capítulo 1: Antecedentes

- 1.1 Semblanza
- 1.2 Problemática actual

Capítulo 2: Administración de pavimentos

- 2.1 Definición
- 2.2 Tipos de sistemas de administración de pavimentos
- 2.3 Datos necesarios para la gestión de pavimentos



Capítulo 3: La red carretera en Hidalgo

- 3.1 Inventario de la red pavimentada en Hidalgo en 2015
- 3.2 Selección de los tramos
- 3.3 Aplicación del sistema HDM-4

Capítulo 4: Conclusiones

Referencias

Solicitamos a Usted tomar nota de que el título del trabajo se imprima en lugar visible de los ejemplares de las tesis.

ATENTAMENTE
"naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

M.I. JAVIER GONZÁLEZ CANTÚ

FACULTAD DE
INGENIERÍA
U.A.CH.



DIRECCIÓN

EL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO

DR. FERNANDO RAFAEL ASTORGA
BUSTILLOS

Dedicatoria

A la energía vital palpitante...

Agradecimientos

A mis padres

A mis hermanas

Al Ing. José Antonio Portillo Ocegüera

A la C. Sandra Martínez Luján

Al Ing. José Luis García López

Al CONACYT

Y a todos aquell@s que contribuyeron a la realización de este proyecto.

Resumen

La presente muestra los resultados obtenidos de la aplicación del software HDM-4 para simular el comportamiento de ciclo de vida del pavimento en un tramo de 7.17 Km. correspondiente al Boulevard Ramón G. Bonfil del Municipio de Pachuca de Soto en el estado de Hidalgo durante el año 2016.

El tramo en cuestión fue dividido en base a sus características físicas (IRI, TDPA, deflexión, profundidad de roderas) en segmentos homogéneos para su estudio, cargándose estos datos en el sistema HDM-4 junto con diferentes alternativas de conservación (reconstrucción, fresado y reposición, rutinaria y sin actividad) para poder decidir sobre la más conveniente en términos de conservación y monetarios.

Con base en los resultados proporcionados por el software, los costes de fresado y reposición a lo largo del tiempo son equivalentes a la intervención de reconstrucción, la única diferencia radica en los montos correspondientes a la inversión inicial, siendo más económica la inversión inicial para el caso de fresado y reposición.

Podemos concluir que el HDM-4 genera información relevante (comportamiento de la carretera y flujo de costos – beneficios principalmente) que debe ser analizada y cotejada con la experiencia ya que aunque el programa es confiable pueden darse casos en los que la opción más prometedora sea inviable en la práctica.

Palabras clave: IRI, HDM-4, Segmentos homogéneos, conservación de carreteras.

Abstract

The present work sample the results obtained from the application of the HDM-4 software to simulate the pavement life cycle performance in a section of 7.17km of the Ramon G. Bonfil Boulevard in Pachuca de Soto Municipality throughout the 2016 year.

This section was divided in homogeneous segments for their analysis on the basis of their physical characteristics (IRI, TDPA, deflection, depth of ruts), this information being loaded in the system HDM-4 together with different alternatives of conservation (reconstruction, milling and reinstatement, routine conservation and without any conservation activity) to be able to decide on the most suitable about conservation and monetary terms.

Based on the software results, the costs of milling and reinstatement throughout the time they are equivalent to the intervention of reconstruction, the only difference lies on the amounts corresponding to the initial investment, being more economical the initial investment for the case of milling and reinstatement.

We can conclude that the HDM-4 generates relevant information (the road performance and flow costs –benefits meanly) that must be analyzed and arranged with the experience since though the software is reliable there can be situations in which the most profitable option is not feasible in the practice.

Keywords: IRI, HDM-4, homogeneous segments, roads conservation.



Índice de Contenido

Agradecimientos	vii
Resumen	viii
Índice de Contenido	ix
Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras.....	xii
Introducción.....	1
Capítulo 1: Antecedentes	3
1.1 Semblanza.....	3
1.2 Problemática actual.....	4
Capítulo 2: Administración de pavimentos	7
2.1 Definición	7
2.2 Tipos de sistemas de Administración de Pavimentos.....	7
2.2.1 SISTER.....	7
2.2.2 SEP... ..	9
2.2.3 HDM-4.....	9
2.3 Datos necesarios para la gestión de pavimentos.....	11
Capítulo 3: La red carretera en Hidalgo.....	9
3.1 Inventario de la red pavimentada en Hidalgo en 2015	12
3.2 Selección de los tramos	15
3.2.1 División del tramo en segmentos homogéneos... ..	16
3.3 Aplicación del sistema HDM-4	21
3.3.1 Marco analítico del HDM-4.....	22
3.3.2 Funcionamiento del HDM-4.....	24
3.3.3 Módulos del HDM-4 B.....	25
3.3.4 Técnicas de conservación y mantenimiento de carreteras	26
3.3.5 Indicadores del comportamiento estructural de pavimentos	28
3.3.6 Creación de los estándares de conservación	29
3.3.7 Elección del módulo HDM-4.....	30
3.3.8 Comparación de alternativas de conservación.....	32



FACULTAD DE INGENIERÍA

3.3.8.1 Alternativas para los tramos en estudio	33
3.3.9 Análisis de resultados	34
3.3.9.1 Tramo sur norte Km. 0+000 al Km. 0+800	34
3.3.9.2 Tramo sur norte Km. 0+800 al Km. 2+360	38
3.3.9.3 Tramo sur norte Km. 2+360 al Km. 3+180	41
3.3.9.4 Tramo sur norte Km. 3+180 al Km. 4+900	45
3.3.9.5 Tramo sur norte Km. 4+900 al Km. 5+560...	51
3.3.9.6 Tramo sur norte Km. 5+560 al Km. 7+170	55
3.3.9.7 Tramo norte sur Km. 0+000 al Km. 0+800	59
3.3.9.8 Tramo norte sur Km. 0+800 al Km. 2+360	57
3.3.9.9 Tramo norte sur Km. 2+360 al Km. 3+180	63
3.3.9.10 Tramo norte sur Km. 3+180 al Km. 4+900	71
3.3.9.11 Tramo norte sur Km. 4+900 al Km. 5+560	75
3.3.9.12 Tramo norte sur Km. 5+560 al Km. 7+170	79
Capítulo 4: Conclusiones.....	86
Referencias	88
Curriculum Vitae	90



Índice de Tablas

Tabla 3.1: Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km. 0+000 – 0+800	17
Tabla 3.2: Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km. 0+800 – 2+360	17
Tabla 3.3: Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km. 2+360 – 3+180	17
Tabla 3.4: Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km. 3+180 – 4+900	17
Tabla 3.5: Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km. 4+940 – 5+560	17
Tabla 3.6: Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km. 5+600 – 7+170	18
Tabla 3.7: Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km. 0+000 – 0+800	18
Tabla 3.8: Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km. 0+800 – 2+360	18
Tabla 3.9: Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km. 2+360 – 3+180	18
Tabla 3.10: Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km. 3+180 – 4+900	18
Tabla 3.11: Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km. 4+940 – 5+560	19
Tabla 3.12: Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km. 5+600 – 7+170	19
Tabla 3.13: Composición de flota vehicular	30
Tabla 3.14: Costo por acción a ejecutar	34
Tabla 3.15: Resumen de alternativas seleccionadas por tramo ambos sentidos	85



Índice de Figuras

Figura 1.1: Enfoque tradicional vs Problemática actual.	4
Figura 2.1: Esquema de funcionamiento del modelo SISTER.	8
Figura 3.1: Regiones de la Red Pavimentada del estado de Hidalgo.	12
Figura 3.2: Caminos pertenecientes a la Región I (Pachuca) de la Red Pavimentada del estado de Hidalgo	13
Figura 3.3: Observaciones de los caminos pertenecientes a la Región I (Pachuca) de la Red Pavimentada del estado de Hidalgo	14
Figura 3.4: Localización del área de estudio.	15
Figura 3.5: Grafica de la segmentación del tramo en estudio.....	20
Figura 3.6: Arquitectura del Modelo HDM-4.....	21
Figura 3.7: Concepto de Análisis ciclo de vida en HDM-4.....	23
Figura 3.8: Efectos del estado de la carretera en los costos de operación del vehículo.....	23
Figura 3.9: Valores de IRI para diferentes superficies de rodamiento. ..	¡Error! Marcador no definido. 9
Figura 3.10: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 0+000 – 0+800.	34
Figura 3.11: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Sur – Norte Km. 0+000 – 0+800.....	35
Figura 3.12: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 0+000 – 0+800.....	35
Figura 3.13: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” ” Tramo Sur – Norte Km. 0+000 – 0+800.....	36
Figura 3.14: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Sur – Norte Km. 0+000 – 0+800.....	36
Figura 3.15: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 0+000 – Km. 0+800.....	37
Figura 3.16: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 0+800 – 2+360.....	38
Figura 3.17: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Sur – Norte Km. 0+800 – 2+360.....	38
Figura 3.18: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 0+800 – 2+360.....	39
Figura 3.19: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Sur – Norte Km. 0+800 – 2+360.....	39
Figura 3.20: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Sur – Norte Km. 0+800 – 2+360.	40
Figura 3.21: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 0+800 – Km. 2+360.....	41
Figura 3.22: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 2+360 – 3+180.....	42
Figura 3.23: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Sur – Norte Km. 2+360 – 3+180.....	42
Figura 3.24: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 2+360 – 3+180.....	43
Figura 3.25: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Sur – Norte Km. 2+360 – 3+180.....	43
Figura 3.26: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Sur – Norte Km. 2+360 – 3+180.	44
Figura 3.27: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 2+360 – Km. 3+180.....	45



Figura 3.28: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 3+180 – 4+900.....	46
Figura 3.29: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Sur – Norte Km. 3+180 – 4+900.....	46
Figura 3.30: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 3+180 – 4+900.....	47
Figura 3.31: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Sur – Norte Km. 3+180 – 4+900.....	47
Figura 3.32: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Sur – Norte Km. 3+180 – 4+900.	48
Figura 3.33: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 3+180 – Km. 4+900.....	49
Figura 3.34: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 4+940 – 5+560.....	50
Figura 3.35: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Sur – Norte Km. 4+940 – 5+560.....	51
Figura 3.36: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 4+940 – 5+560.....	51
Figura 3.37: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Sur – Norte Km. 4+940 – 5+560.....	52
Figura 3.38: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas. Tramo Sur – Norte Km. 4+940 – 5+560.....	52
Figura 3.39: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 4+940 – Km. 5+560.....	53
Figura 3.40: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 5+600 – 7+170.....	54
Figura 3.41: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Sur – Norte Km. 5+600 – 7+170.....	55
Figura 3.42: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 5+600 – 7+170.....	55
Figura 3.43: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Sur – Norte Km. 5+600 – 7+170.....	56
Figura 3.44: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Sur – Norte Km. 5+600 – 7+170.....	56
Figura 3.45: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 5+600 – Km. 7+170.....	57
Figura 3.46: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 0+000 – 0+800.....	58
Figura 3.47: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Norte – Sur Km. 0+000 – 0+800.....	59
Figura 3.48: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 0+000 – 0+800.....	59
Figura 3.49: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 0+000 – 0+800.....	60
Figura 3.50: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 0+000 – 0+800.....	60
Figura 3.51: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 0+000 – Km. 0+800.....	61
Figura 3.52: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 0+800 – 2+360.....	62
Figura 3.53: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Norte – Sur Km. 0+800 – 2+360.....	63



Figura 3.54: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 0+800 – 2+360.....	63
Figura 3.55: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 0+800 – 2+360.....	64
Figura 3.56: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 0+800 – 2+360.....	64
Figura 3.57: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 0+800 – Km. 2+360.....	65
Figura 3.58: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 2+360 – 3+180.....	66
Figura 3.59: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Norte – Sur Km. 2+360 – 3+180.....	67
Figura 3.60: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 2+360 – 3+180.....	67
Figura 3.61: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 2+360 – 3+180.....	68
Figura 3.62: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 2+360 – 3+180.	68
Figura 3.63: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 2+360 – Km. 3+180.....	70
Figura 3.64: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 3+180 – 4+900.....	71
Figura 3.65: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Norte – Sur Km. 3+180 – 4+900.....	71
Figura 3.66: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 3+180 – 4+900.....	72
Figura 3.67: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 3+180 – 4+900.....	72
Figura 3.68: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 3+180 – 4+900.....	73
Figura 3.69: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 3+180 – Km. 4+900.....	74
Figura 3.70: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 4+940 – 5+560.	75
Figura 3.71: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Norte – Sur Km. 4+940 – 5+560.	75
Figura 3.72: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 4+940 – 5+560.	76
Figura 3.73: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 4+940 – 5+560.	76
Figura 3.74: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 4+940 – 5+560... ..	77
Figura 3.75: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 4+940 – Km. 5+560.....	78
Figura 3.76: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 5+600 – 7+170.	79
Figura 3.77: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Norte – Sur Km. 5+600 – 7+170.	79
Figura 3.78: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 5+600 – 7+170.	80
Figura 3.79: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 5+600 – 7+170.	80



FACULTAD DE INGENIERÍA

Figura 3.80: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 5+600 – 7+170...81

Figura 3.81: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el tramo Km. 5+560 – Km. 7+170.....82

Figura 3.82: Resumen de costos por alternativa y tramo sentido Norte Sur.....83

Figura 3.83: Resumen de costos por alternativa y tramo sentido Sur Norte.....83



Introducción

El desarrollo económico y social de un país está íntimamente relacionado con el estado de sus vías de comunicación, en particular con la existencia y calidad de sus redes carreteras, por lo que es de medular importancia la magnitud de las inversiones involucradas en la conservación del pavimento de las mismas, lo que ha llevado al desarrollo de una nueva disciplina, "La Administración de Pavimentos", que a través de sistemas de auscultación y modelos de predicción del comportamiento, permite la planificación de los trabajos y la optimización de los recursos destinados a conservación.

Estas técnicas han tenido su origen y desarrollo en países industrializados, tanto en cuanto al diseño y fabricación de equipos de alto rendimiento, como a la ejecución de extensas investigaciones en distintos países, para el establecimiento de relaciones matemáticas que permiten simular el comportamiento de los pavimentos a lo largo de su vida útil.

No obstante la necesidad de contar con sistemas de administración de pavimentos en los países en vías de desarrollo es imperiosa, toda vez que en dichos países los recursos financieros son más escasos, en particular los destinados a conservación de infraestructura. Es por ello, que se hace necesaria la aplicación de un sistema integral que comprenda todas las etapas de la administración de pavimentos, desde la toma de datos en terreno hasta la formulación de los programas de conservación.

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) junto con la Dirección General de Conservación de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) ha desarrollado a través de los años, una serie de sistemas de gestión de pavimentos principalmente enfocados a la conservación, cuya aplicación se ha extendido a lo largo de la red federal de 46, 000 km de carreteras en México; Sin embargo, actualmente no se ofrece una solución técnica a la conservación de las carreteras estatales y municipales.



La presente incorpora uno de estos sistemas de gestión de pavimentos en un tramo correspondiente al Boulevard G. Bonfil del Municipio de Pachuca, estado de Hidalgo; contribuyendo a la resolución de problemas serios de conservación y mantenimiento a la infraestructura vial estatal y municipal, remediando la carencia de técnicas de mantenimiento a la infraestructura vial y abriendo una oportunidad de desarrollo de nuevos conocimientos y metodologías.



Capítulo 1: Antecedentes

1.1 SEMBLANZA

A partir de 1574 los cambios que se abrieron en el territorio nacional fueron auspiciados por el sistema de "Consulados", por lo que al finalizar la época colonial el país contaba ya con una pequeña red carretera y caminos de herradura. Ya en la época independiente, entre 1821 y 1861 las funciones correspondientes a la obra pública se encontraban diseminadas en diversas instancias, hasta que el Presidente Juárez las integró en la Secretaría de Fomento, Comunicaciones y Obras.

En 1891 cuando se crea la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP), la cual tenía a su cargo la planeación, construcción y conservación de los caminos del país. Posteriormente, en 1917 y dentro de la Secretaría, fue constituida la Dirección de Caminos y Puentes a cargo de las funciones de su especialidad.

Conforme a las modificaciones aprobadas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal en 1982, desaparece la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas y se transfieren a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes las funciones de infraestructura y con ellas las de construcción y mantenimiento de la red nacional de caminos, a cargo de la Dirección General de Conservación de Obras Públicas. Esta organización ha venido cambiando de nombres y funciones, hasta noviembre de 2007, año en que se autorizó la hoy vigente estructura orgánica, y es la principal responsable de la conservación de carreteras en nuestro país.

1.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL

México se halla enfrentado a un importante problema de modernización y refuerzo de carreteras, que se superpone a las necesidades de la conservación normal de una red del orden de los 230,000 km. Estos requerimientos de modernización y refuerzo, que afectan de momento a unos 45,000 km., de la zona más ocupada de la red, se deben a la existencia de carreteras construidas hace más de 30 años, en las que se utilizaron materiales de dudosa calidad con abundante presencia de arcillas. Como consecuencia del progreso general del país, esta fracción de la red ha desarrollado un tránsito importante, de 15,000 vehículos diarios y hasta 50,000 en ciertos casos, muy pesado y por ello plantea un problema de resolución urgente (Rico Rodríguez et al, 1990).

En la figura 1.1 se presenta esquemáticamente el enfoque tradicional sobre conservación de pavimentos contra la problemática actual que nos sugiere la utilización de un sistema de administración de pavimentos



Figura 1.1: Enfoque tradicional vs Problemática actual.



Los Sistemas de Administración de Pavimentos y de toma de decisiones en materia de conservación que se han desarrollado en el mundo, a despecho de su excelente calidad para los ambientes para los que fueron concebidos, son considerados en México insuficientes. Estos sistemas proceden de países desarrollados, con excelentes redes de carreteras, hechas de buenos materiales y están calibrados para reaccionar ante la evolución del estado superficial del pavimento y ello en dos sentidos, rugosidad (fricción con la llanta, que se traduce en seguridad de marcha) y deformación o deterioro en la carpeta (que se controla a través del concepto Índice de Servicio). Se parte así de la base de que en todos los casos se tiene una falla funcional, pero nunca estructural. Los métodos correctivos que estos sistemas proporcionan son sobrecarpetas, reciclados u otros tratamientos superficiales, dependiendo del espesor de carpeta comprometido en la falla funcional.

Así es como surge la necesidad de comenzar a inventariar la red carretera en el país y administrarla de manera que se pudieran reducir los costos de mantenimiento, por esta razón durante los años 90's se diseñó el Sistema de Administración de Pavimentos (SIMAP), desarrollado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT),

Posteriormente, con base en la experiencia, aplicaciones y restricciones o fallas de las primeras versiones, tanto el IMT como la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) decidieron diseñar un nuevo sistema, a fin de que el Sector Comunicaciones y Transportes, y en especial las áreas de infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos y Dirección General de Conservación de Carreteras, contaran con una herramienta sencilla y de uso práctico para evaluar los pavimentos flexibles de la red federal de carreteras, y con los resultados del sistema en cuestión, los usuarios pudieran según su criterio, utilizar cualquier método adecuado de administración de la conservación. Además, con los resultados de ambos una vez integrados, o sea el Sistema de Evaluación de Pavimentos y luego el Sistema de Administración de la Conservación, el Sector estuviera



FACULTAD DE INGENIERÍA

en condiciones de priorizar y presupuestar anualmente todas y cada una de las acciones de conservación requeridas.



Capítulo 2: Administración de Pavimentos

2.1 DEFINICIÓN.

Se define como la conducción efectiva y eficiente de las diversas actividades involucradas en el suministro y preservación de pavimentos en una condición aceptable para el público usuario al menor costo del ciclo de vida.

Se hace uso de modelos de gestión que permiten determinar, de manera sistemática, los trabajos de conservación requeridos en las carreteras federales libres de peaje.

2.2 TIPOS DE SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS.

2.2.1 *SISTER*

El modelo Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Carretero (*SISTER*, por sus siglas en francés) ha sido utilizado por la SCT desde 1993.

Este modelo simula la evolución del estado físico de las carreteras a partir de la ejecución de determinadas obras, por consiguiente para su aplicación es necesario conocer el estado físico de la red federal. Esto se logra a partir de un inventario de daños, que es realizado anualmente, durante noviembre y diciembre, con personal de los Centros SCT.

En la figura 2.1 se muestra esquemáticamente el funcionamiento del modelo *SISTER*, el cual considera en su conjunto a la red vial por administrar, a partir del banco de datos y define una estrategia óptima de mantenimiento a partir de simulaciones de las consecuencias de varias alternativas de inversión y/o diferentes obras a realizar, lo que otorga la posibilidad de evaluar técnica y económicamente cada una de las propuestas.

Además permite conocer la evolución del estado físico de la red de conformidad con las asignaciones y estrategias autorizadas, así como la tendencia y el tiempo de recuperación de la red a niveles internacionales (50% bueno y 50% en aceptable estado), con las asignaciones requeridas a corto o largo plazo según la estrategia y el período de evaluación escogido.

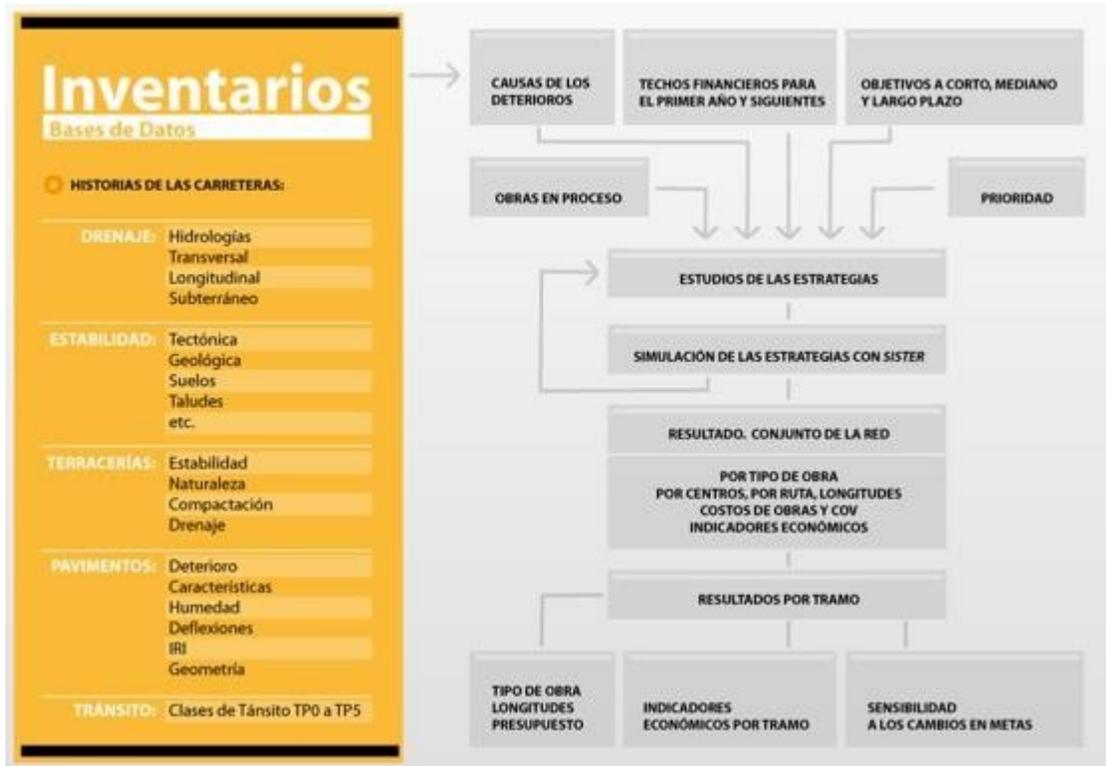


Figura 2.1: Esquema de funcionamiento del modelo SISTER.

Desde el año 2002 la SCT inició el reemplazo de este sistema por el HDM-4, debido principalmente a que los derechos de autor del sistema no permiten su aplicación en otra entidad distinta a la SCT, el banco mundial ha recomendado a la SCT el uso de herramientas de análisis del tipo HDM-4 ya que utiliza medidas de aceptación internacional para la identificación del estado de las carreteras, tales como: IRI, deflexiones, roderas, etc. (Escalante, 2002).



2.2.2 SISTEMA DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS (SEP)

Desde sus inicios el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) ha desarrollado Sistemas de Gestión de Pavimentos principalmente enfocados a la conservación.

El primer producto fue el SIMAP (Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos), que fue evolucionado hasta convertirse en el actual SEP 2.0. Estos 2 sistemas originales fueron aplicados con éxito para redes de carreteras federales y estatales en los estados de: Puebla, Guanajuato y Querétaro, con lo que se probó su eficiencia para redes de caminos pequeñas y medianas.

2.2.3 HIGHWAY DEVELOPMENT AND MANAGEMENT (HDM-4)

El siguiente paso en 2004 consistió en aplicar el sistema HDM-4 generado y diseñado por el banco mundial en 3 importantes autopistas operadas por caminos y Puentes Federales (CAPUFE). En años subsecuentes el IMT contrato con CAPUFE y BANOBRAS la aplicación de este modelo de sistema integral de gestión en los 4500 km de la red de autopistas del Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas Concesionadas (FARAC).

El IMT junto con la Dirección General de Conservación de Carreteras de la SCT, han colaborado permanentemente para que este sistema integral de gestión, sea aplicado en la totalidad de la red federal de 46,000 km de carreteras en México. El Modelo HDM-4 es una importante herramienta de análisis para la evaluación técnica y económica de Inversiones en construcción y conservación de redes de carreteras.



El funcionamiento de la herramienta se basa en un modelo de cálculo de las relaciones físicas y económicas derivadas de un extenso estudio sobre el deterioro de las carreteras, el efecto de la conservación de las mismas, y los costes de operación de los vehículos.

Las principales funciones del HDM-4 son el análisis de los deterioros y los efectos de la conservación de carreteras, para una serie de alternativas de conservación especificadas por el usuario de la aplicación. Para ello, calcula los costes de operación de los vehículos en función del estado de cada carretera, determina los costes anuales de la administración de carreteras y de los usuarios para cada una de las alternativas de conservación definidas. Por último, se evalúan las alternativas de conservación, produciendo la comparación económica de las mismas. De esta manera el ingeniero dispone de una amplia información para determinar cuáles son las medidas de conservación más beneficiosas para la red estudiada.

Las herramientas incorporadas al HDM-4 permiten:

- 1.- Predecir el deterioro del pavimento durante su vida útil.
- 2.- Calcular los efectos de acciones de conservación y mejoramiento del pavimento.
- 3.- Estimar costos de operación vehicular y otros propios de los usuarios de infraestructura vial.
- 4.- Determinar los efectos de la congestión en la velocidad de operación de vehículos, en los costos de operación vehicular.
- 5.- Evaluar proyectos, políticas y programas de conservación en términos técnicos y económicos, obteniendo los montos y beneficios de cada alternativa considerada, y calcular indicadores de rentabilidad como el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).



- 6.- Optimizar programas de conservación y mejoramiento sujetos a restricciones presupuestales.
- 7.- Calcular los montos de inversión necesarios para mantener determinado nivel de servicio en una red carretera o estimar el nivel de servicio que puede lograrse con un techo financiero dado.
- 8.- Evaluar los efectos de políticas de largo plazo, como son cambios en las cargas legales del tránsito, estándares de conservación de pavimentos, y normas de diseño.

2.3 DATOS NECESARIOS PARA LA GESTION DE PAVIMENTOS

Inventario vial

Indicadores del estado físico

Tránsito

Información climatológica

Historial de conservación

Insumos para el cálculo de costo del usuario

Datos económicos

Capítulo 3: La red carretera en Hidalgo

3.1 INVENTARIO RED ESTATAL PAVIMENTADA 2015

Actualmente la red carretera estatal está constituida por un total de 1004.74 Km. de carreteras pavimentadas (inventario de la red estatal pavimentada del año 2015) y 7646.57 Km. de caminos rurales, incluyendo caminos revestidos, brechas y empedrados (según el inventario de la red estatal de caminos rurales del año 2015). Para el presente estudio consideraremos únicamente la red pavimentada (figura 3.1), la cual está dividida en XVII regiones para su mejor administración y en particular nos enfocaremos a la Región I Pachuca (Figura 3.2), la cual está constituida por un total de 16 caminos sumando un total de 90.07 km.

REGION		No. DE CAMINOS	LONG. KM. EN CPO. 1	LONG. KM. EN CPO. 2
I	PACHUCA	16	68.11	21.96
II	TULANCINGO	13	72.59	11.7
III	TULA	8	26.2	0.6
IV	HUICHAPAN	6	33.66	0
V	ZIMAPAN	9	44.68	0
VI	IXMIQUILPAN	20	115.44	0
VII	ACTOPAN	7	25.11	0
VIII	METZITILAN	7	39.76	0
IX	MOLANGO	14	86.67	0
X	HUEJUTLA	41	214.03	0.5
XI	APAN	6	46.8	6.3
XII	TIZAYUCA	8	38.37	3
XIII	OTOMÍ - TEPEHUA	6	34	0
XIV	TEPEJI DEL RIO	9	41.14	0
XV	ATOTONILCO EL GRANDE	4	21.26	0
XVI	JACALA	6	29.97	0.55
XVII	ZACUALTIPAN	6	22.34	0
GRAN TOTAL		No. DE CAMINOS	LONG. KM. EN CPO. 1	LONG. KM. EN CPO. 2
		186	960.13	44.61
		SUMA	1,004.74	
		%	95.56%	4.44%

Figura 3.1: Regiones de la Red Pavimentada del estado de Hidalgo.

De los 16 caminos que constituyen la Región I (Pachuca) para motivos de esta Tesis se seleccionara el Tramo denominado Ramón G. Bonfil ya que es el que presenta el mayor número de kilómetros en mal estado y la recomendación actual de conservación es reconstrucción (figura 3.3).

No.	CAMINO
REGION I PACHUCA	
1	PASO POR PACHUQUILLA - MINERAL DE LA REFORMA
2	PACHUCA - LA ESTANZUELA - LAS MILPAS
3	MINERAL DEL MONTE - SANTA ROSALÍA - NOPALILLO
4	ANTIGÜA CARR. MEXICO - PACHUCA (PASO POR LA CORONA)
5	ANTIGÜA CARR. MEXICO - PACHUCA (ACCESO A LA COMERCIAL)
6	ANTIGÜA CARR. MEXICO - PACHUCA (ACCESO A VENTA PRIETA)
7	ACCESO A ESCUELA HIJOS DEL EJERCITO Y OF. SEP
8	BOULEVARD ROJO GOMEZ FTE. CENTRAL CAMIONERA
9	DISTRIBUIDOR VIAL LA PAZ
10	PACHUCA "T" LIBRAMIENTO
11	DISTRIBUIDOR VIAL SANTA CATARINA (DOS CUERPOS)
12	BOULEVARD LAS TORRES
13	ACCESO Y DISTRIBUIDOR VIAL LA CONCEPCION
14	DISTRIBUIDOR VIAL LAS PALOMAS
15	BLVD. RAMON G. BONFIL
16	BLVD. NUEVO HIDALGO

Figura 3.2: Caminos pertenecientes a la Región I (Pachuca) de la Red Pavimentada del estado de Hidalgo.



No.	CAMINO	ESTADO DE LA RED CARRETERA ESTATAL KM.			OBSERVACIONES
		BUENO	REGULAR	MALO	
REGION I PACHUCA					
1	PASO POR PACHUQUILLA - MINERAL DE LA REFORMA		3.80		PRESENTA ALGUNOS BACHES, REQUIERE SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL
2	PACHUCA - LA ESTANZUELA - LAS MILPAS	5.50	5.19	2.00	5 KM LIMPIEZA DE CUNETAS, REQUIERE BACHEO AISLADO Y SEÑALAMIENTO VERTICAL COMO HORIZONTAL, MANTENIMIENTO DE DESHERBE, LIMPIEZA DE OBRAS DE DRENAJE
3	MINERAL DEL MONTE - SANTA ROSALÍA - NOPALILLO	11.40	2.00	2.00	7 KM LIMPIEZA CUNETAS, REQUIERE BACHEO AISLADO Y SEÑALAMIENTO VERTICAL COMO HORIZONTAL
4	ANTIGÜA CARR. MEXICO - PACHUCA (PASO POR LA CORONA)			1.15	REQUIERE RECONSTRUCCION EN TODA SU LONGITUD
5	ANTIGÜA CARR. MEXICO - PACHUCA (ACCESO A LA COMERCIAL)		0.35		PRESENTA ALGUNOS BACHES, REQUIERE SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL
6	ANTIGÜA CARR. MEXICO - PACHUCA (ACCESO A VENTA PRIETA)		0.70		PRESENTA ALGUNOS BACHES, REQUIERE SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL
7	ACCESO A ESCUELA HIJOS DEL EJERCITO Y OF. SEP	0.65			BUEN ESTADO FALTA SEÑALAMIENTO HORIZONTAL
8	BOULEVARD ROJO GOMEZ FTE. CENTRAL CAMIONERA	2.06			BUEN ESTADO FALTA SEÑALAMIENTO HORIZONTAL
9	DISTRIBUIDOR VIAL LA PAZ		1.91		PRESENTA ALGUNOS BACHES, REQUIERE SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL
10	PACHUCA "T" LIBRAMIENTO	2.50			REQUIERE SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL
11	DISTRIBUIDOR VIAL SANTA CATARINA (DOS CUERPOS)			3.20	REQUIERE RECONSTRUCCION EN TODA SU LONGITUD
12	BOULEVARD LAS TORRES		7.00		7 KM CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO REGULAR, SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL REGULAR, EN ESPERA DE LA CONTINUACION DE LA CONSTRUCCION DEL SIGUIENTE
13	ACCESO Y DISTRIBUIDOR VIAL LA CONCEPCION	3.80	2.00		PRESENTA ALGUNOS BACHES, REQUIERE SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL
14	DISTRIBUIDOR VIAL LAS PALOMAS	3.12			PRESENTA ALGUNOS BACHES, REQUIERE SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL
15	BLVD. RAMON G. BONFIL		6.00	8.34	REQUIERE RECONSTRUCCION AMBOS CUERPOS FALTA SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL.
16	BLVD. NUEVO HIDALGO	15.40			SEÑALAMIENTO HORIZONTAL REGULAR REQUIERE REPINTADO, REPARACION DE REJILLAS
		44.43	28.95	16.69	

Figura 3.3: Observaciones de los caminos pertenecientes a la Región I (Pachuca) de la Red Pavimentada del estado de Hidalgo.

3.2 SELECCIÓN DE LOS TRAMOS

El tramo seleccionado en esta tesis fue elegido de acuerdo a la importancia que representa para la red pavimentada del estado de Hidalgo, por el grado de deterioro que presenta y porque de acuerdo al plan de conservación vigente está considerada una reconstrucción como solución.

Esta carretera consta de dos cuerpos y cuenta con una longitud de 7.17 km. por cuerpo, está orientado en la mayoría de su extensión de sur a norte, siendo las coordenadas de inicio en el lado sur 521672.00 E, 2219579.00 N y las coordenadas de termino en el lado norte 524846.00 E, 2224168.00 N (figura 3.4). El transito que presenta comprende en su mayoría vehículos ligeros que se trasladan de sus domicilios hacia el sur o norte de la ciudad,

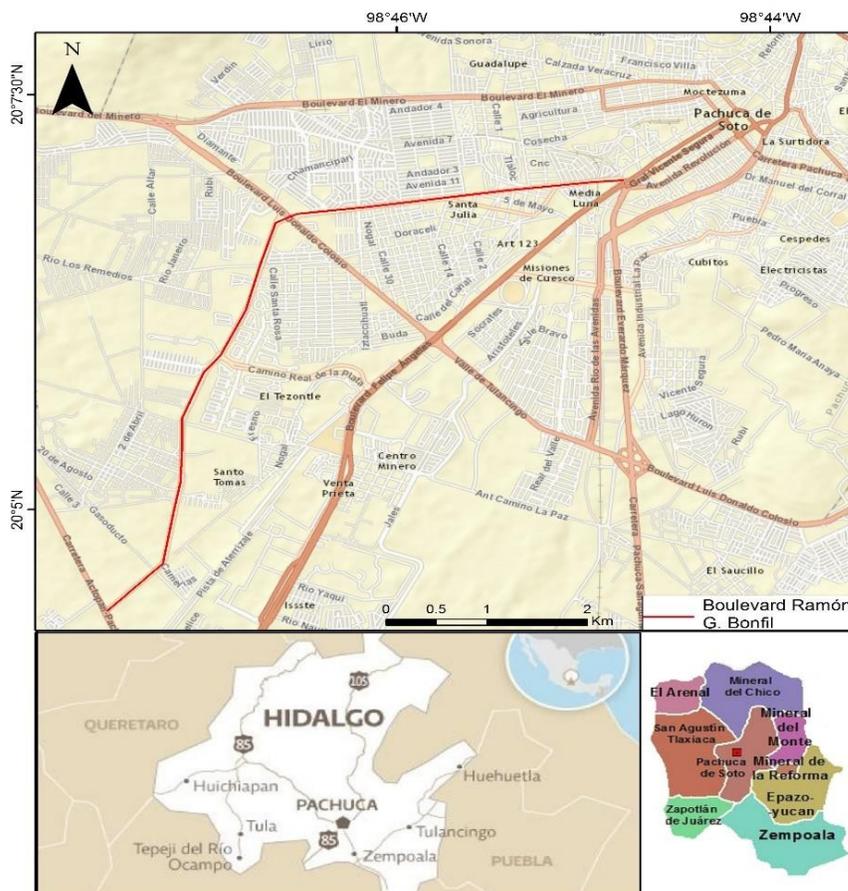




Figura 3.4: Localización del área de estudio.

3.2.1 DIVISION DEL TRAMO EN SEGMENTOS HOMOGENEOS.

Después de elegido el tramo de estudio se procede a dividirlo en segmentos, de acuerdo con las características físicas que se tomaran en cuenta al analizar la carretera.

Estas son:

- **Diseño geométrico:** son las características del trazo de la carretera. El HDM-4 presenta varios tipos de trazo tratando de abarcar los tipos mas representativos de carreteras.
- **TDPA:** es el promedio diario anual de los vehículos que circulan por un tramo o por una parte de este.
- **Clima:** son los diferentes tipos de clima que se localizan en el tramo.
- **IRI:** índice internacional de irregularidad que se presenta en las secciones de la carretera.
- **Profundidad de roderas:** es la profundidad que presentan las huellas del tránsito en mm.
- **Deflexión:** se refiere al desplazamiento vertical que experimenta el pavimento al ser sometido a una carga, constituye una medida de su capacidad estructural y se da en mm.
- **Numero estructural:** índice que representa la capacidad estructural del pavimento y el HDM-4 lo calcula con la deflexión que se proporciona.

La carretera en estudio puede presentar uno o más tramos que pueden tener diferentes valores o características de las antes mencionadas, por lo anterior es necesario dividir la carretera en subtramos o segmentos que contengan únicamente un valor o característica de cada uno de los factores antes mencionado. El proceso de división del



tramo en diferentes secciones se realiza manualmente. Todos estos datos se obtuvieron de bases de datos de la Dirección General de Conservación de Carreteras del Estado de Hidalgo y se muestran en las tablas 3.1 a 3.12.

Tabla 3.1 Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km 0+000 – 0+800.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	3.56
Profundidad de Rodera (PR)	6.41
Deflexión	538.5

Tabla 3.2 Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km 0+800 – 2+360.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	4.04
Profundidad de Rodera (PR)	7.19
Deflexión	709.5

Tabla 3.3 Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km 2+360 – 3+180.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	3.90
Profundidad de Rodera (PR)	6.42
Deflexión	371

Tabla 3.4 Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km 3+180 – 4+900.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	1.5
Profundidad de Rodera (PR)	.25
Deflexión	125

Tabla 3.5 Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km 4+940 – 5+560.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	3.35



Profundidad de Rodera (PR)	5.72
Deflexión	471

Tabla 3.6 Datos del tramo de estudio sentido sur norte Km 5+600 – 7+170.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	4.10
Profundidad de Rodera (PR)	7.05
Deflexión	590

Tabla 3.7 Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km 0+000 – 0+800.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	3.41
Profundidad de Rodera (PR)	6.25
Deflexión	575

Tabla 3.8 Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km 0+800 – 2+360.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	4.54
Profundidad de Rodera (PR)	7.72
Deflexión	690

Tabla 3.9 Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km 2+360 – 3+180.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	3.30
Profundidad de Rodera (PR)	5.49
Deflexión	290

Tabla 3.10 Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km 3+180 – 4+900.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	1.4
Profundidad de Rodera (PR)	.2
Deflexión	100



Tabla 3.11 Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km 4+940 – 5+560.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	3.75
Profundidad de Rodera (PR)	6.12
Deflexión	612

Tabla 3.12 Datos del tramo de estudio sentido norte sur Km 5+600 – 7+170.

TDPA	10922
Clima	BSk
IRI	2.90
Profundidad de Rodera (PR)	4.00
Deflexión	340

Después de contar con esta información, se procede a trazar la gráfica (figura 3.3) que representa las divisiones de los subtramos en segmentos homogéneos.

GRAFICA DE LA SEGMENTACION DEL TRAMO EN ESTUDIO

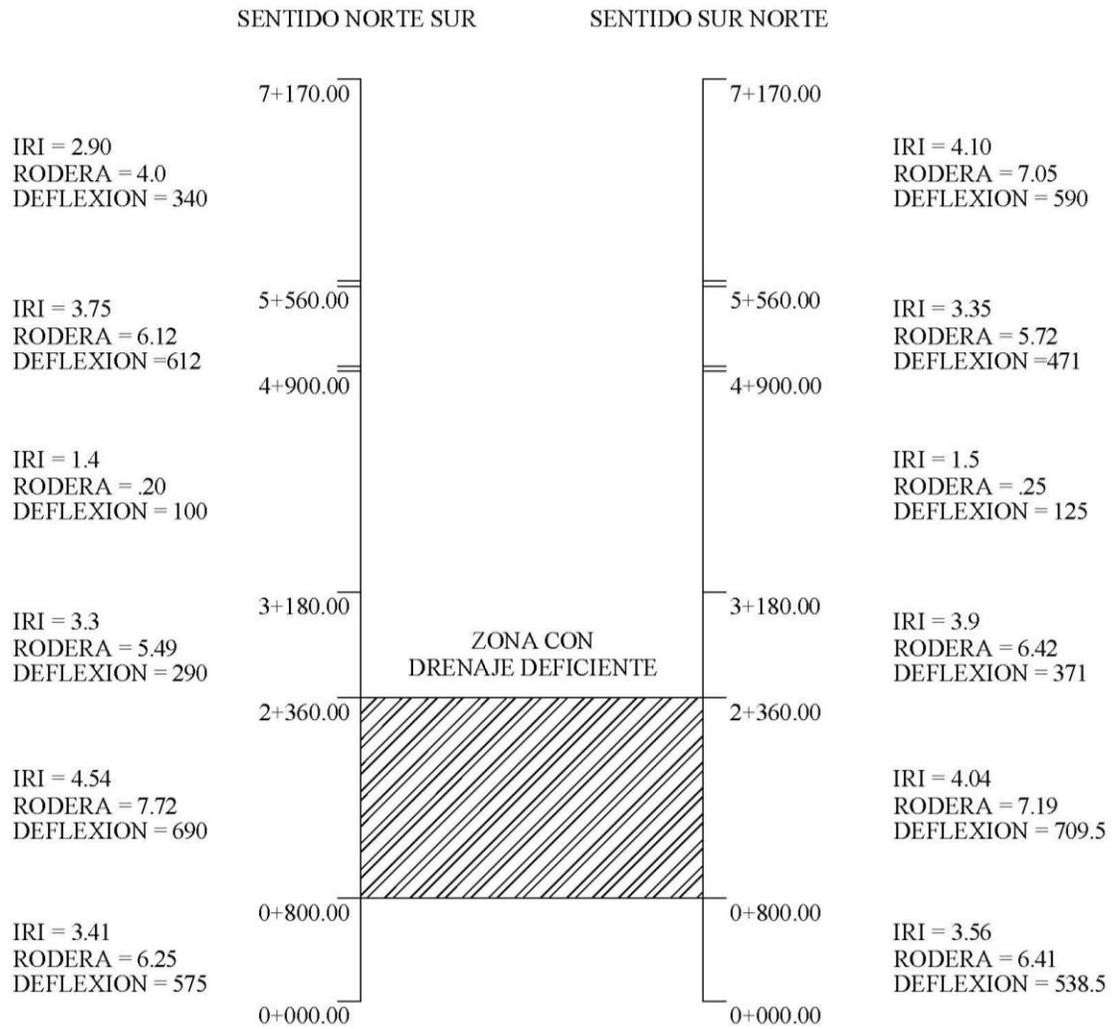


Figura 3.5: Gráfica de la segmentación del tramo en estudio.

4.2 SISTEMA HDM-4

El HDM-4 es una aplicación computacional desarrollada por el Banco Mundial para ayudar a los países en vías de desarrollo a planear y mejorar las condiciones de la infraestructura carretera.

En la figura 3.5 se aprecia la arquitectura del modelo HDM, el cual simula el comportamiento del ciclo de vida de las carreteras considerando todas las relaciones entre esta, el ambiente, y el tráfico dentro de una economía nacional o regional que determina la composición y la estructura de costos de las variables (SCT, 2001).

El usuario debe definir una alternativa base, contra la cual se compararan las otras posibles alternativas de inversión.

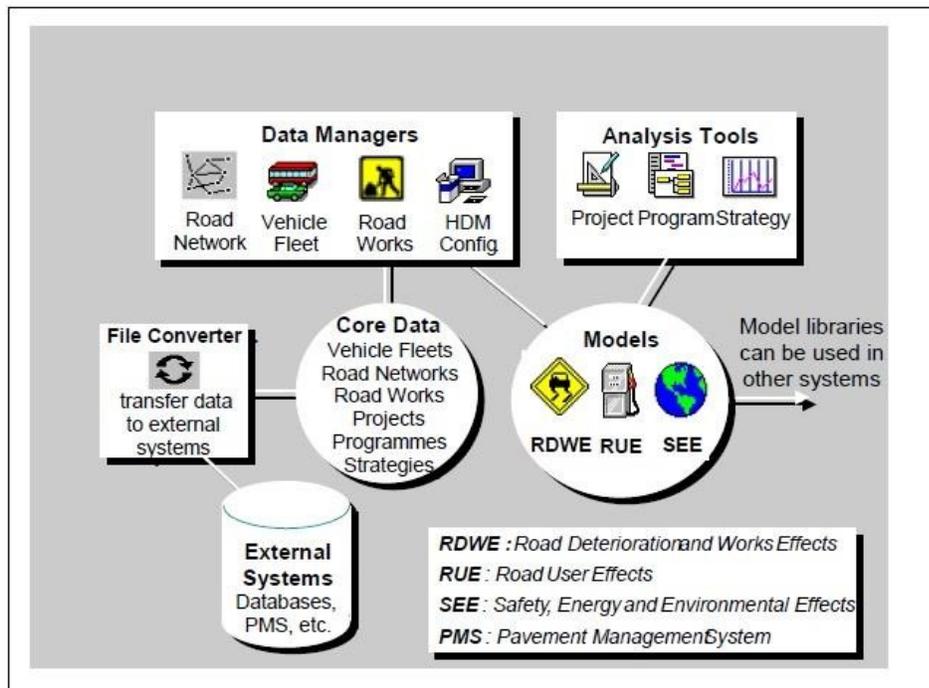


Figura 3.6: Arquitectura del Modelo HDM-4.



El modelo tiene por objetivo incorporar el conocimiento de todos los estudios hechos acerca de conservación de carreteras con nuevos conocimientos derivados de investigaciones alrededor del mundo y nuevas tecnologías computacionales.

Básicamente se pueden definir tres áreas de alcance del programa:

- Presupuestación de proyectos: obtención de presupuestos para la conservación, rehabilitación y nueva construcción, a través del análisis del ciclo de vida de una propuesta de inversión en carreteras.
- Programación de trabajos: preparación de programas de conservación y desarrollo de red de carreteras para varios años, que faciliten la preparación de presupuestos a mediano plazo.
- Planeación estratégica: desarrollo de políticas, planes de distribución de recursos a largo plazo y planificación de redes carreteras.

El presente trabajo se orienta particularmente a la obtención de costos de diferentes alternativas de conservación diferentes a las propuestas actualmente por la Dirección General de Conservación de Carreteras.

4.2.1 MARCO ANALÍTICO DEL HDM-4

El marco analítico del HDM-4 se basa en el ciclo de vida de la capa de rodadura y se aplica para predecir deterioro del pavimento, efectos de las obras de reparación, efectos para los usuarios de las carreteras, efectos socioeconómicos y medioambientales.

Una vez construidos los pavimentos, estos se deterioran debido a las cargas del tránsito, factores medioambientales, drenajes inadecuados, etc., la tasa de deterioro del pavimento está directamente afectada por los estándares de conservación aplicados para

reparar defectos en la superficie de rodamiento o para conservar la integridad estructural del pavimento, las condiciones generales del pavimento a largo plazo dependen de los estándares de conservación aplicados a la carretera (figura 3.6).

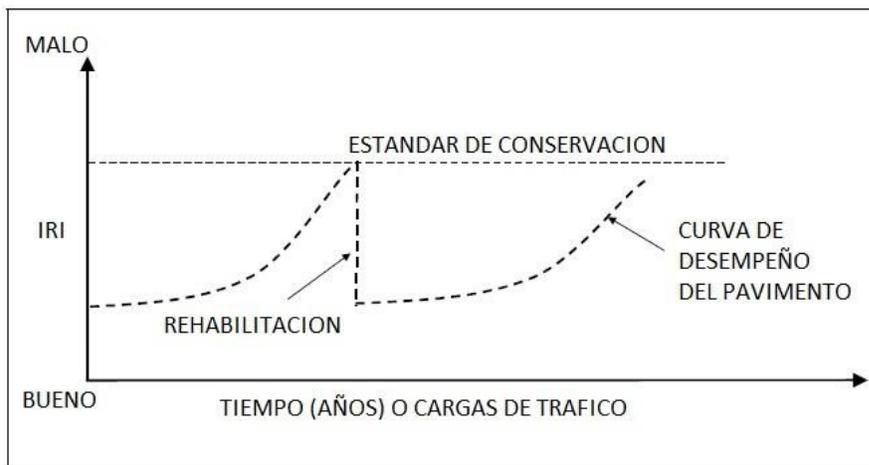


Figura 3.7: Concepto de Análisis ciclo de vida en HDM-4.

Así mismo los costos de operación del vehículo se ven directamente afectados por el estado físico de las vías de comunicación.

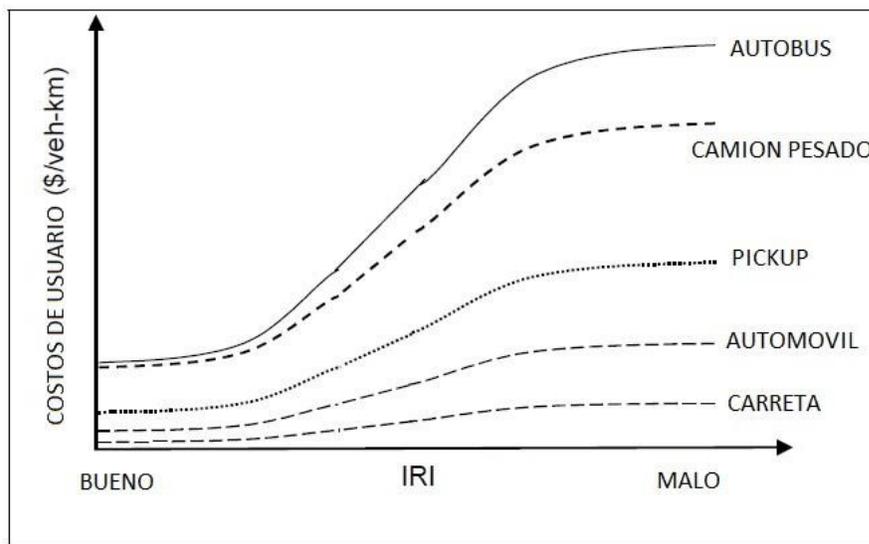


Figura 3.8: Efectos del estado de la carretera en los costos de operación del vehículo.



4.2.2 *FUNCIONAMIENTO DEL HDM-4.*

Para iniciar a trabajar con el HDM-4 es necesario dividir la red carretera (o carretera como en este caso de estudio) en tramos y subtramos que reúnan ciertas características en común. Ya definidos los tramos se pasa a vaciar la información de acuerdo a las siguientes fases:

- Características de la carpeta: tales como IRI, condiciones climáticas, características geométricas, especificaciones estructurales, tipo de carpeta, etc.
- Condiciones de tránsito: TDPA, tipos de vehículos, factores de daño, tasa de crecimiento, etc.
- Estándares de conservación: cada estándar de conservación está definido por diferentes tareas de conservación (riego de sello, sobrecarpetas, etc.).

Posteriormente, se procede a elegir el módulo de HDM-4 a utilizar, análisis de estrategias, análisis de programas o análisis de proyectos.

Los resultados del análisis generan una serie de gráficas de tres tipos principalmente:

- Indicadores de eficiencia económica: para el análisis de proyectos de conservación individuales.
- Programas de trabajo para varios años: producidos después de la selección de varios posibles proyectos de carreteras.
- Conservación estratégica y planes de desarrollo carretero: producidos a partir de datos a largo plazo para el mantenimiento de redes carreteras.

Con base en esos resultados, el analista selecciona la alternativa deseada. El HDM-4 no selecciona la alternativa por sí solo, es necesario el criterio del analista y la consulta a diferentes niveles de operación (técnico, gerencial o administrativo).



4.2.3 MÓDULOS DEL HDM-4.

Básicamente se pueden identificar tres módulos dentro del HDM-4:

- **Análisis de proyecto:** el HDM-4 analiza un tramo de carretera con ciertas condiciones definidas por el usuario, con costos y beneficios asociados proyectados anualmente a través del periodo de análisis. Los indicadores económicos se determinan para cada diferente opción de inversión. La evaluación de las alternativas planteadas en este documento se realizó usando este módulo.
- **Análisis de programación:** el HDM-4 analiza redes de carreteras tramo a tramo y prepara una programación para varios años en base a opciones de inversión bien definidas, las estimaciones se producen a partir de los trabajos y los requisitos de gastos para cada tramo por año de duración del programa.
- **Análisis de estrategia:** el HDM-4 analiza una red elegida como un total para preparar estimaciones a largo plazo de gastos necesarios para el desarrollo y la conservación de la carretera bajo diferentes tipos de presupuesto, las estimaciones se producen por requisitos de gastos de mediano a largo plazo en periodos de 5 a 40 años.

La diferencia principal entre los diferentes módulos es la forma en que se trata la división de la carretera. En el análisis de programa, se definen los tramos como unidades físicas identificables de la red de carreteras a través del análisis. En el análisis de estrategias se consideran como grupos los tramos representativos de la red de carreteras que serán analizados. El sistema carretero pierde las características individuales de cada tramo. En el análisis de estrategia, se tiene una visión general más que específica y es trabajada por grupos.



4.2.4 TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS.

En el programa nacional de conservación de carreteras se contemplan los siguientes rubros principales:

- **Reconstrucción de tramos:** se trata de reconstruir la estructura en forma parcial o total. Comprende la recuperación de parte del pavimento existente, tratamiento de la zona descubierta, tendido de la parte recuperada; restitución o reparación de obras menores, instalación de sistemas de drenaje, etc. Generalmente se considera una vida útil de 15 años a estos trabajos.
- **Reconstrucción de puentes:** comprende el refuerzo de las estructuras principales y/o ampliación de calzada, así como mantenimiento de juntas.
- **Conservación periódica:** incluye todas las obras de rehabilitación necesarias para que un camino ofrezca las condiciones adecuadas de servicio, como pueden ser, renivelación, riegos de sello, restitución de señalamiento vertical y horizontal, etc..
- **Conservación rutinaria:** incluye aquellas acciones que corrigen las fallas producidas por la repetición continua de cargas y por agentes climáticos que disminuyen el nivel óptimo de operación de la carretera, estas acciones se clasifican de acuerdo a la parte de la carretera donde se efectúan (superficie de rodamiento y acotamiento, obras de drenaje, taludes, estructuras, etc.).



Dentro de la conservación rutinaria el HDM-4 contempla las siguientes actividades:

- Nivelación de superficies sin pavimentar.
- Bacheo.
- Sellado de grietas y fisuras.
- Reparación y sellado de juntas.
- Mantenimiento de hombros.
- Control del polvo.
- Mantenimiento de zonas de descanso.
- Mantenimiento de aditamentos de seguridad.

Dentro de la conservación periódica el HDM-4 contempla las siguientes actividades:

- Riegos de sello.
- Sobrecarpetas.
- Reconstrucción.



4.2.5 INDICADORES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS.

Para la correcta aplicación del HDM-4 es necesario el estudio del comportamiento del pavimento, necesitándose algunos datos de entrada como son:

- Número estructural, deformación bajo carga: el número estructural es un factor que determina la condición estructural de un pavimento asfáltico, considerando las diferentes capas que contenga y los espesores de estas. El HDM-4 permite calcular este número estructural, o ingresarlo de bases de datos disponibles. Este factor es introducido al analizar cada tramo en particular y los resultados que arroja el programa muestran sus comportamientos en los diferentes años del periodo de análisis.
- IRI: es uno de los índices más importantes que se consideran para evaluar el estado de los pavimentos y muestra en forma general la condición de la carretera (figura 3.8). Este índice engloba la condición actual de un pavimento y tiene ciertos niveles que se consideran permisibles y que ya están incluidos en la base de datos del HDM-4. El modelo pide un índice actual de la carretera y se le proporciona para los diferentes tramos. Al final del análisis el programa arroja gráficas de la evolución del IRI para cada tramo y para cada año. Una correcta evaluación del IRI a lo largo de la vida del proyecto, ayuda a elegir entre alternativas y al mismo tiempo es indispensable para que el programa elija cuando aplicar las tareas de conservación definidas en la alternativa.

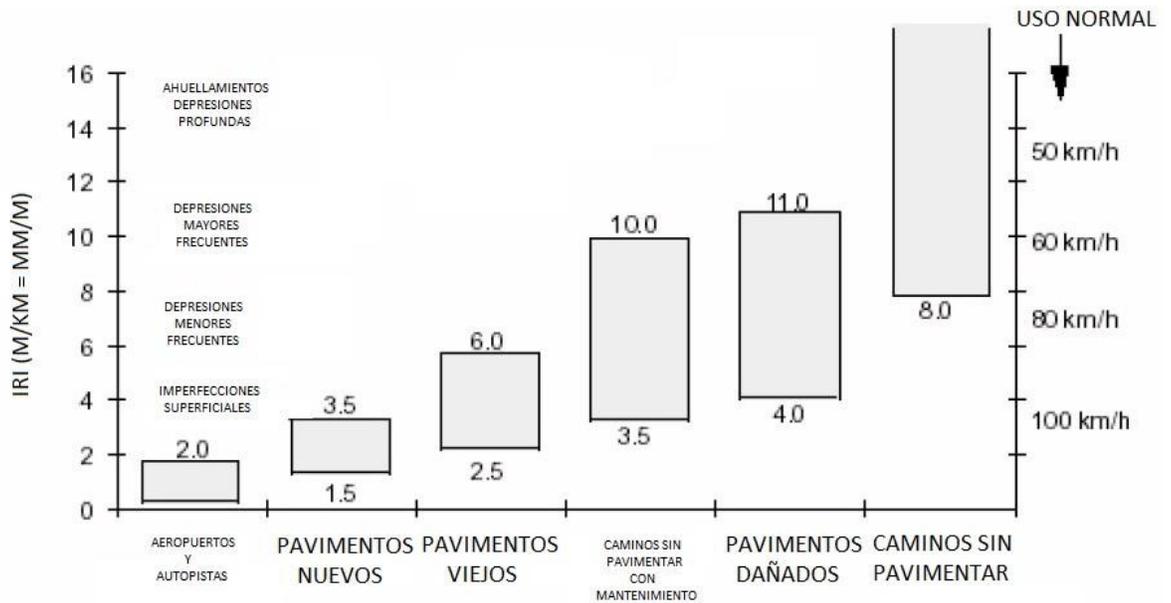


Figura 3.9: Valores de IRI para diferentes superficies de rodamiento.

4.2.6 CREACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE CONSERVACIÓN.

Un estándar de conservación o de mejora está constituido por diferentes tareas de conservación que están determinadas en el HDM-4. Las tareas por incluir en los estándares aparecen en menú del HDM-4 dependiendo del tipo de pavimento que se haya elegido. Las tareas que se asignen a cada estándar de conservación pueden ser modificadas en sus parámetros de diseño, intervención costos y efectos. Siempre es necesario formular una alternativa base que servirá como referencia para realizar el análisis económico, a todas las alternativas se les asigna la misma red de carreteras con los subtramos correspondientes, lo que varía son los estándares asociados.



4.2.7 ELECCIÓN DEL MÓDULO DE HDM-4.

Para el presente documento se trabajara en el módulo de proyecto, ya que se pretenden evaluar diferentes alternativas de conservación para el mismo tramo de carretera.

Se seleccionó la opción nuevo proyecto considerando las siguientes características iniciales:

- Año de comienzo: 2016-01-01
- Periodo de análisis: 15 años
- Red de Carreteras: Hgo-Bonfil
- Parque de vehículos: Flota Hgo.

Después de definir estas características se seleccionaron los tramos de la red de carreteras, los tipos de vehículos usados y los porcentajes de cada tipo de vehículo en el flujo vehicular, así como la tasa de crecimiento para cada uno de ellos (Tabla 3.13).

Tabla 3.13 Composición de flota vehicular.

Vehículo	Composición Inicial (%)	Crecimiento anual (%)
A	72.40	3.30
B	14.50	3.30
C	8.15	3.30
T3-S2	4.85	3.30



T3-S2-R4	0.10	3.30
----------	------	------

Ya que se tienen definidas todas las variables, se define la alternativa que va a servir como base, se selecciona la opción para realizar el análisis económico y se ejecuta el análisis. Al terminar el análisis el HDM-4 proporciona informes tablas y gráficas del comportamiento futuro de la carretera en el periodo de tiempo que se seleccionó, las cuales permiten apreciar el impacto de las acciones de conservación sobre el estado del pavimento, también incluye gráficas de efectos sobre los usuarios y las gráficas del análisis económico, los informes se encuentran clasificados de la siguiente manera:

- Informes de deterioro/trabajos
- Tráfico
- Efectos sobre el usuario
- Efectos medioambientales
- Flujo de costos

De todos los resultados los que nos representan una mayor utilidad para la elección de una alternativa son:

- Estado anual de la carretera: presenta tablas del comportamiento año con año con los efectos de las alternativas de conservación.
- Gráfico de regularidad media por alternativa de proyecto: presenta una gráfica de IRI a través de los años. Esta grafica no se muestra por tramo sino que obtiene una ponderación de acuerdo a la longitud de los tramos.
- Gráfico de regularidad media por tramos: se muestran las gráficas del comportamiento físico para los diferentes tramos año con año. En estas gráficas se pueden apreciar claramente los efectos de las acciones de



conservación sobre el IRI y se puede comparar que factor produce una mayor duración de la carretera.

- Grafico del estado anual de las carreteras: son graficas muy parecidas al punto anterior pero se incluyen parámetros que describen la condición del pavimento (agrietamiento, baches, etc.)
- Beneficios netos anuales: se genera una tabla que muestra los beneficios de los tramos de carretera año con año así como los costos de administración. Se obtienen los beneficios netos totales descontando los costos de administración y sumando el ahorro de costos de los usuarios producidos por la alternativa desarrollada.
- Comparación de costos: presenta un resumen del punto anterior incluyendo cada tramo y cada año y mostrando los beneficios netos al final de cada año.
- Flujo de costos anuales de la administración y del usuario: se presenta una tabla que incluye los costos mencionados para cada tramo y cada año, tanto de la alternativa base como de las alternativas evaluadas.
- Relación beneficio-costos: nos muestra una tabla que resume los costos totales de las alternativas, no se incluye el análisis tramo por tramo si no solamente el análisis de la alternativa completa.

4.2.8 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE CONSERVACIÓN.

Una vez definida la alternativa base (reconstrucción) se procedió a la evaluación de alternativas que consiste en buscar la mejor opción primeramente para lograr la reposición de la capa de desgaste y en segundo término trabajos de conservación periódica. Se escogió la alternativa más conveniente en términos de conservación y monetarios.



Un aspecto muy importante a considerar es la definición de los costos a usar, a continuación se anexan las definiciones usadas por el HDM-4 para los costos financieros y económicos.

Costo financiero: Precios de mercado de los productos a usar y de las técnicas empleadas en las tareas de conservación.

Costo económico: Son el valor real de los costos de oportunidad de los recursos al quitar impuestos, subsidios y otros costos de los precios de mercado, en nuestro caso quitaremos el valor del IVA (16%) para llegar a estos costos.

3.3.8.1 ALTERNATIVAS PARA LOS TRAMOS EN ESTUDIO.

Para la alternativa base se consideró la reconstrucción como se había mencionado anteriormente, para la siguiente alternativa se consideró bacheo y sellado de grietas (mantenimiento de rutina), una tercera alternativa que consideró fresado y carpeta de 5cm y una última alternativa sin tareas de conservación (no hacer nada), los costos de estos trabajos se muestran en la tabla 3.14.

- Sellado de grietas: se utiliza para rellenar grietas individuales y prevenir la entrada de agua o materiales. Para aplicar el sellado antes deben ser limpiadas de impurezas. Esta técnica es más efectiva si se aplica bajo temperaturas moderadas e inmediatamente después a la formación de la grieta. El HDM-4 incluye una tarea equivalente denominada “crack sealing”.
- Bacheo: es un tratamiento común para áreas con daños localizados, pueden ser profundos (cuando la sección entera del pavimento está dañada) o superficiales. Normalmente se utilizan mezclas en caliente para bacheos permanentes y mezclas en frío para bacheos temporales o de emergencia. El HDM-4 incluye una tarea equivalente denominada “patching”.



- Sobrecarpetas: se utilizan para aumentar la capacidad estructural de los pavimentos por lo que se consideran una acción de rehabilitación. El HDM-4 incluye una tarea equivalente denominada “Overlay Dense-graded Asphalt”

Tabla 3.14 Costos por acción a ejecutar.

ACCIÓN	COSTO ECONÓMICO	COSTO FINANCIERO
Sellado de Grietas	180.00 / m ²	208.80 / m ²
Bacheo	300.00 / m ²	348.00 / m ²
Sobrecarpeta	60.00 / m ²	69.60 / m ²
Perfilado de C.A (5cm máx)	15.00 / m ²	17.40 / m ²
Reconstrucción	1000.00 / m ²	1160.00 / m ²

3.3.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

A continuación se procede a la evaluación de las alternativas de conservación planteadas en el proyecto, a fin de evaluar los efectos de la conservación rutinaria, la alternativa base también se comparó contra una alternativa sin tareas de conservación (Sin Actividad). Entre ellas se escogerá la alternativa más conveniente en términos de servicio y monetarios.

3.3.9.1 TRAMO SUR NORTE KM 0+000 AL KM 0+800.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el primer tramo del Boulevard Ramón G. Bonfil sentido Sur Norte del Km 0+000 al Km 0+800 (figuras 3.10 a 3.14).

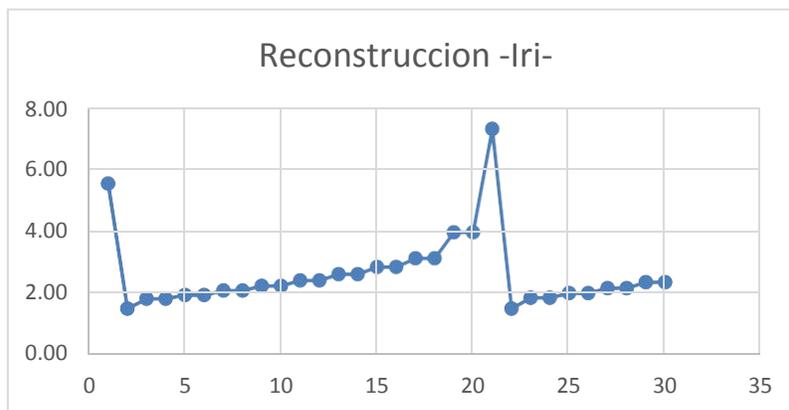


Figura 3.10: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 0+000 – 0+800.

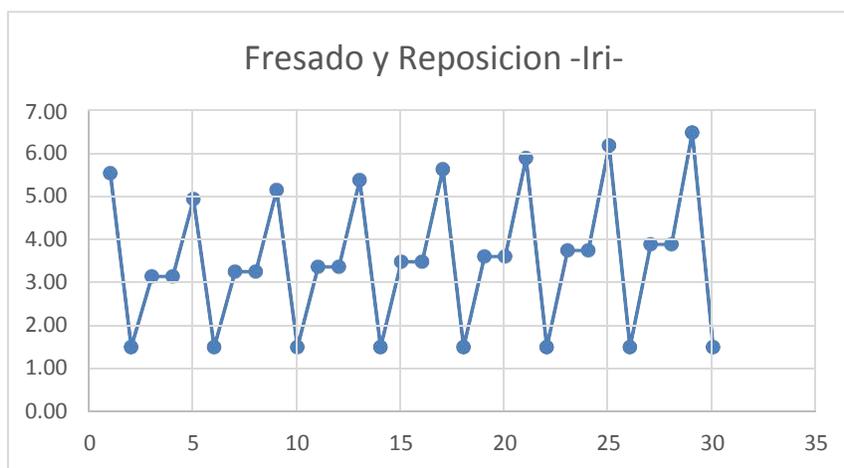


Figura 3.11: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Sur – Norte Km. 0+000 – 0+800.

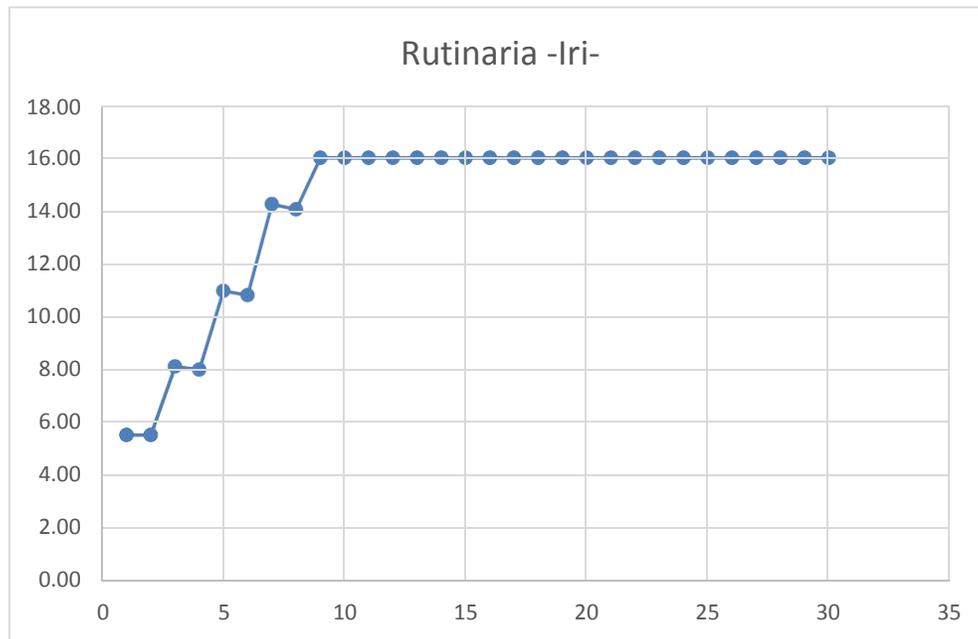


Figura 3.12: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 0+000 – 0+800.

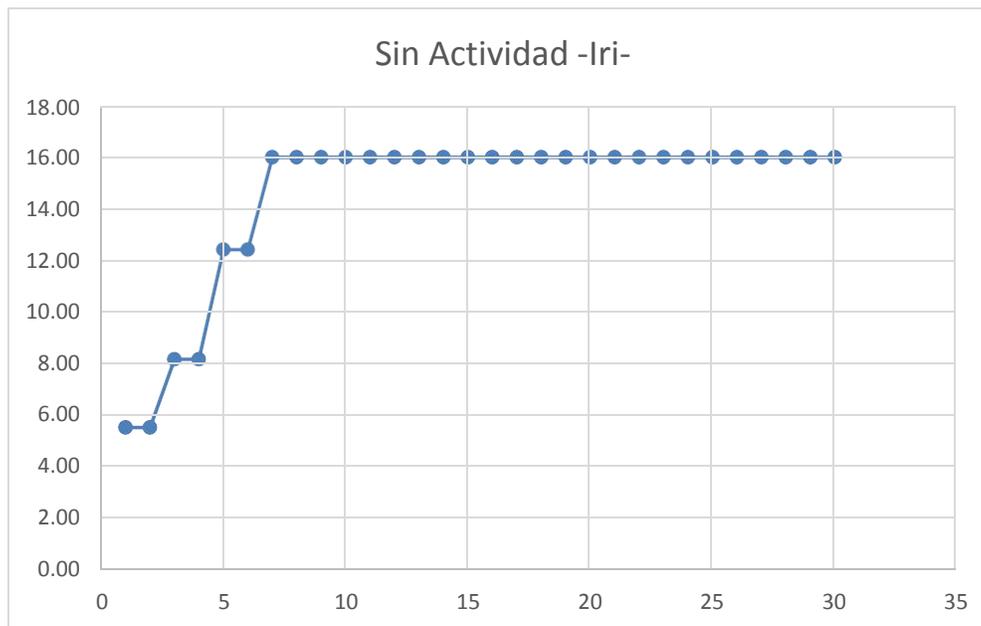


Figura 3.13 Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Sur – Norte Km. 0+000 – 0+800.

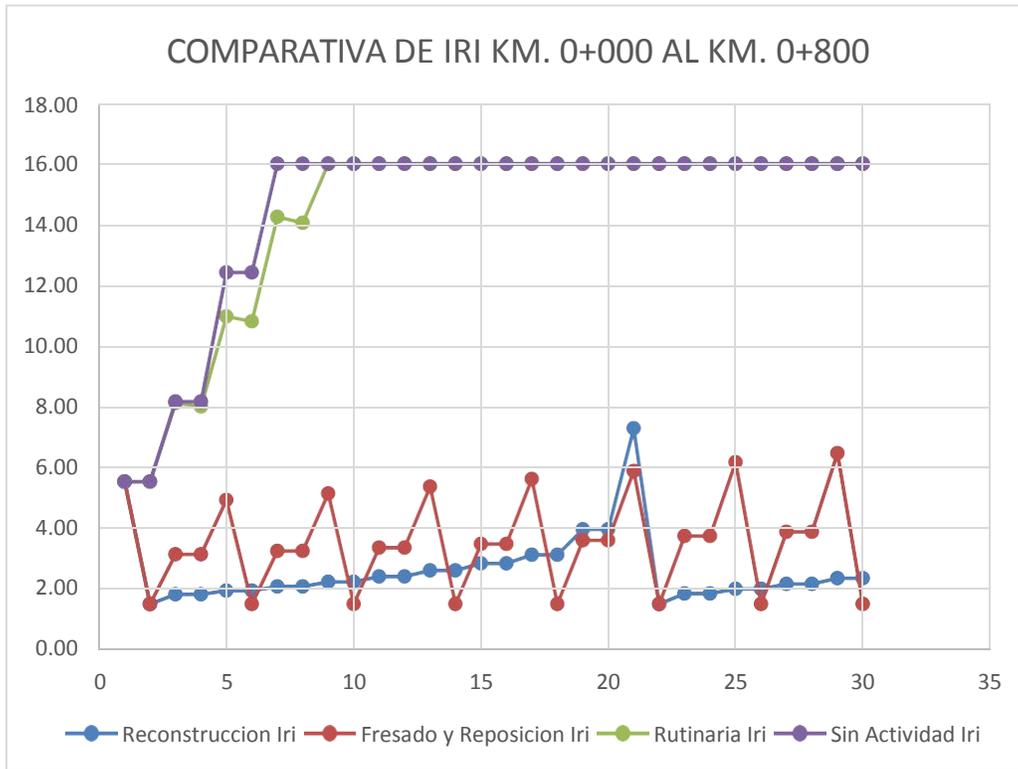


Figura 3.14: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Sur – Norte Km. 0+000 – 0+800.

En la figura 3.14 se muestra la comparativa de las actividades consideradas, como se aprecia en esta figura la opción de reconstrucción con dos intervenciones a lo largo de 15 años logra mantener el IRI por debajo de 4 aproximadamente.

La opción de fresado y reposición logra esta misma meta pero con picos trianuales muy próximos a un valor de IRI de 6.

Las opciones de conservación rutinaria y sin actividad en el primer par de años llegan a niveles de IRI del orden de 16, aunque es importante hacer notar que la conservación rutinaria logra mantener un año más el IRI por debajo de 16.

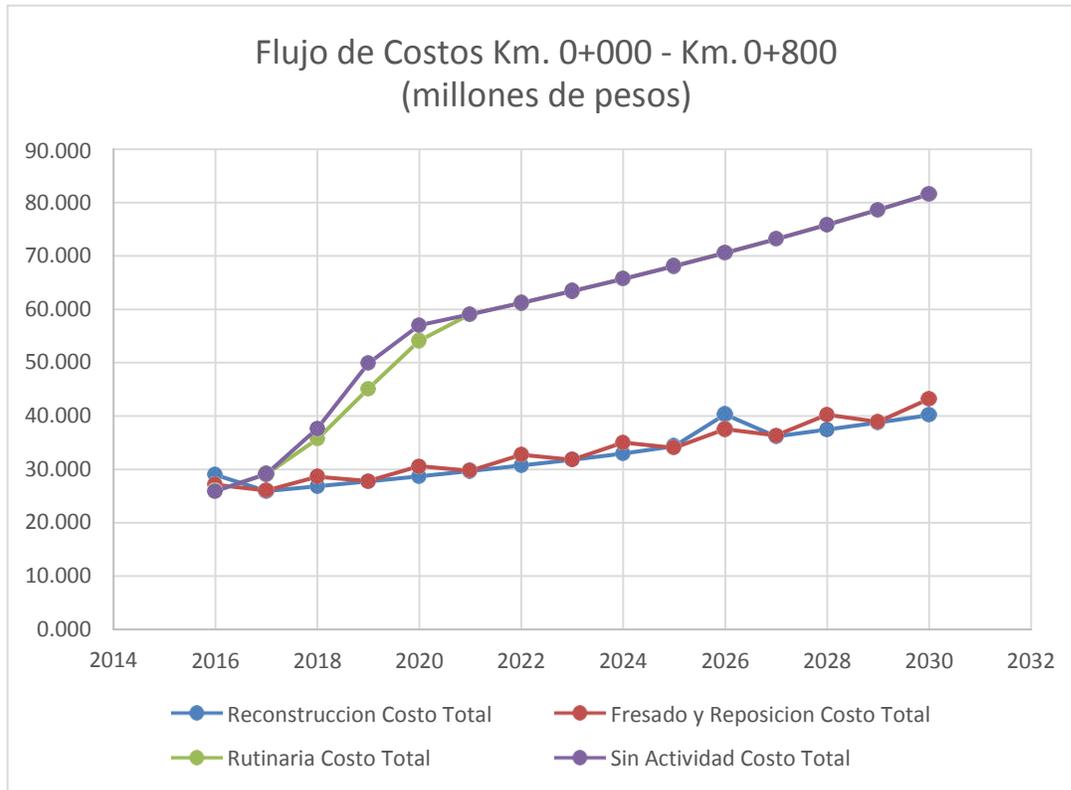


Figura 3.15: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Sur – Norte Km 0+000 – Km 0+800.

En la figura 3.15 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares.

En sentido opuesto podemos notar que el hecho de no invertir en la vialidad nos incrementa los costos en un aproximado de 100 millones de pesos en los primeros 5 años, llegando a ser para el año 2030 un aproximado de 1000 millones de pesos.

3.3.9.2 TRAMO SUR NORTE KM 0+800 AL KM 2+360.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el tramo comprendido del Km 0+800 al Km 2+360 sentido Sur Norte (figuras 3.16 a 3.20).

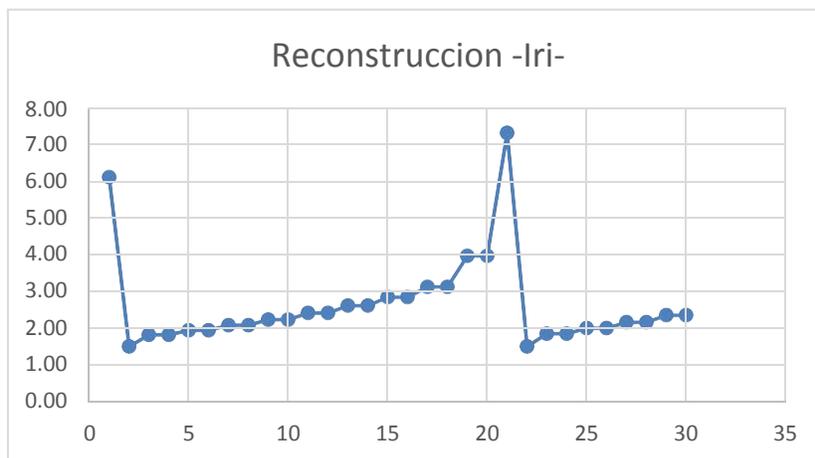


Figura 3.16: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 0+800 – 2+360.

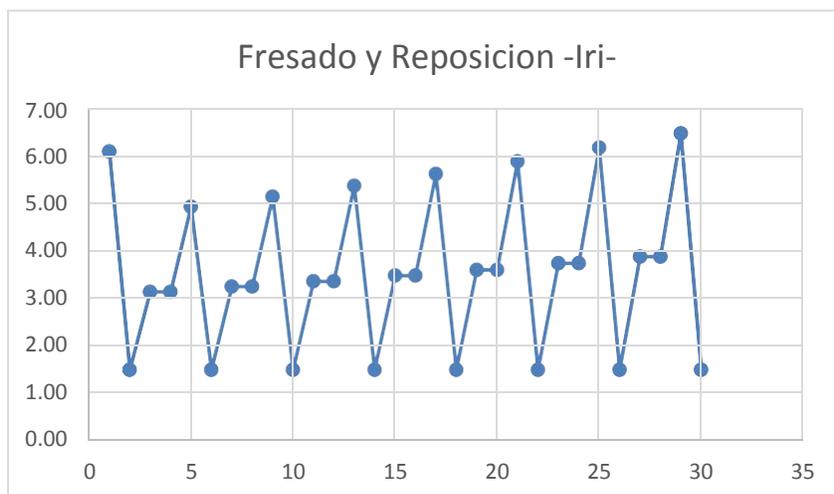


Figura 3.17: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Sur – Norte Km. 0+800 – 2+360.

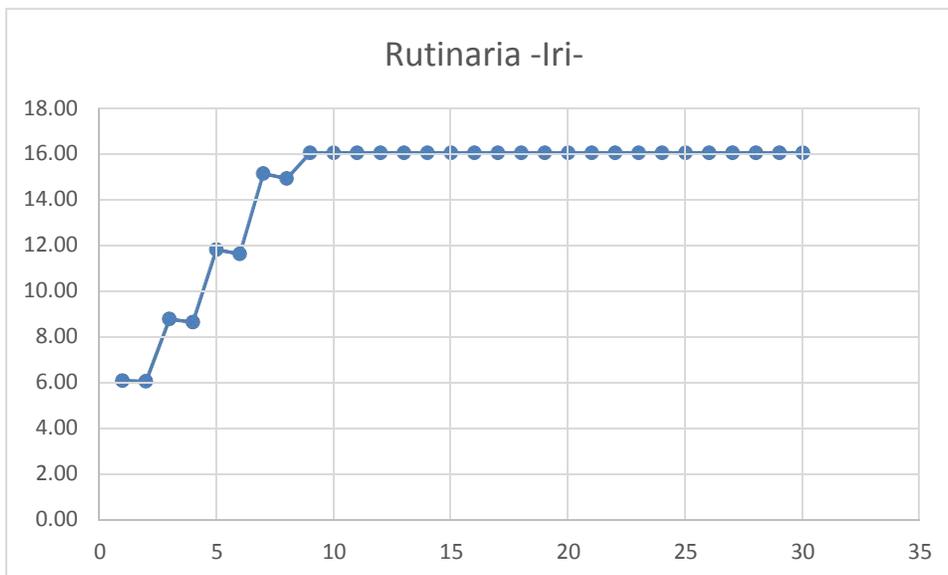


Figura 3.18: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 0+800 – 2+360.

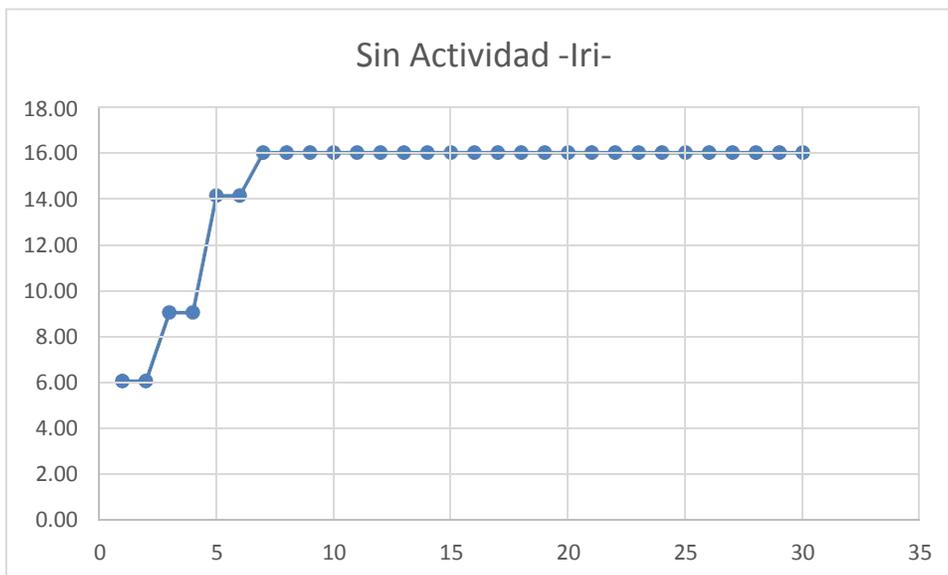


Figura 3.19: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Sur – Norte Km. 0+800 – 2+360.

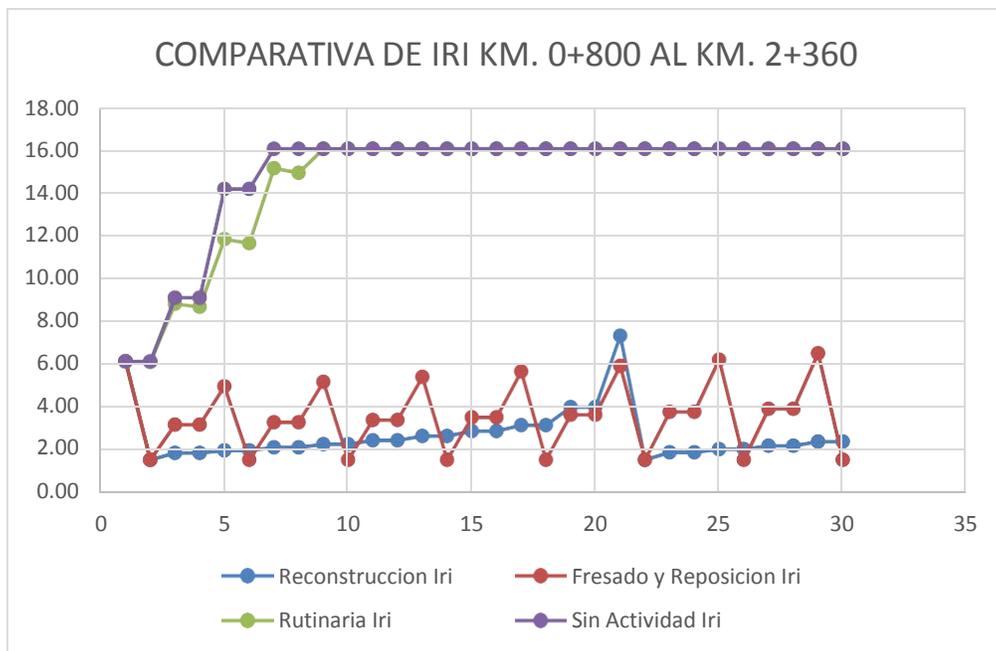


Figura 3.20: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Sur – Norte Km. 0+800 – 2+360.

En la figura 3.20 se muestra la comparativa de las actividades estudiadas en el presente proyecto, como se aprecia en esta figura la opción de reconstrucción con dos intervenciones a lo largo de 15 años logra mantener el IRI por debajo de 3 aproximadamente.

La opción de fresado y reposición logra mantener el IRI por debajo de 4 pero con picos trianuales comprendidos en un principio muy próximos a un valor de IRI de 5, sin embargo por la fatiga estructural este valor se incrementa a valores de IRI próximos a 7 después de 15 años de proyección y continuando a la alta con el paso de los años.

Las opciones de conservación rutinaria y sin actividad en los primeros tres años llegan a niveles de IRI del orden de 16.

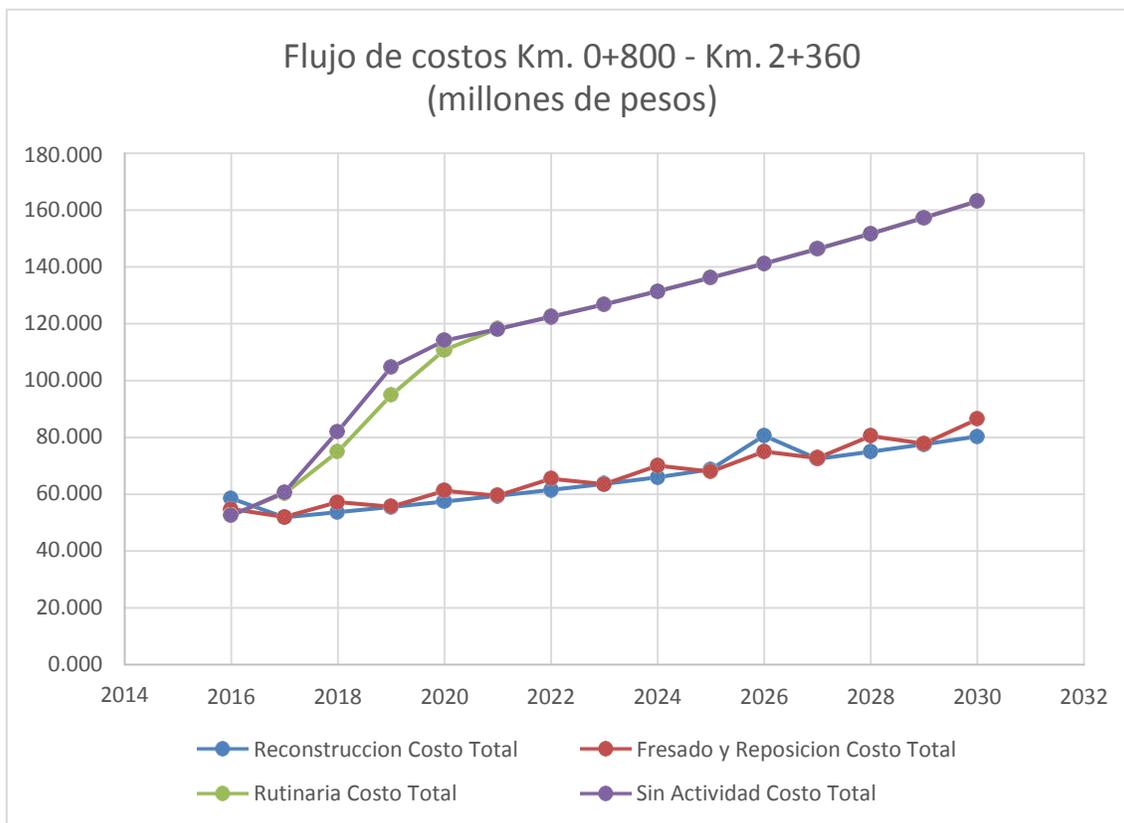


Figura 3.21: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Sur – Norte Km. 0+800 – 2+360.

En la figura 3.21 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto, considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares, llegando a ser superiores los correspondientes a fresado y reposición.

Se puede apreciar que el hecho de no invertir en la vialidad nos incrementa los costos en un aproximado de 100 millones de pesos en los primeros 5 años, llegando a ser para el año 2030 un aproximado de 1000 millones de pesos.

3.3.9.3 TRAMO SUR NORTE KM 2+360 AL KM 3+180.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el tramo comprendido del Km 2+360 al Km 3+180 sentido Sur Norte (figuras 3.22 a 3.26).

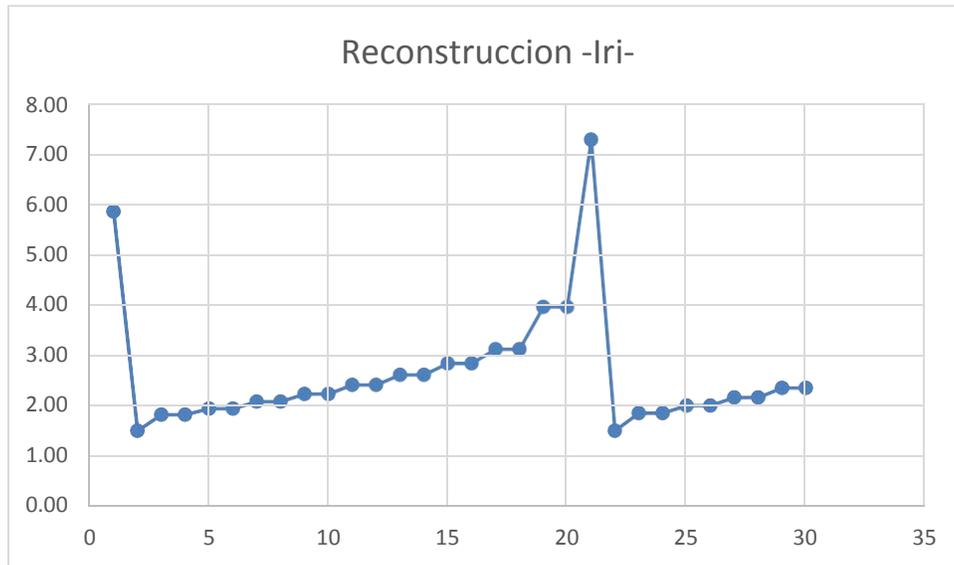


Figura 3.22: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 2+360 – 3+180.

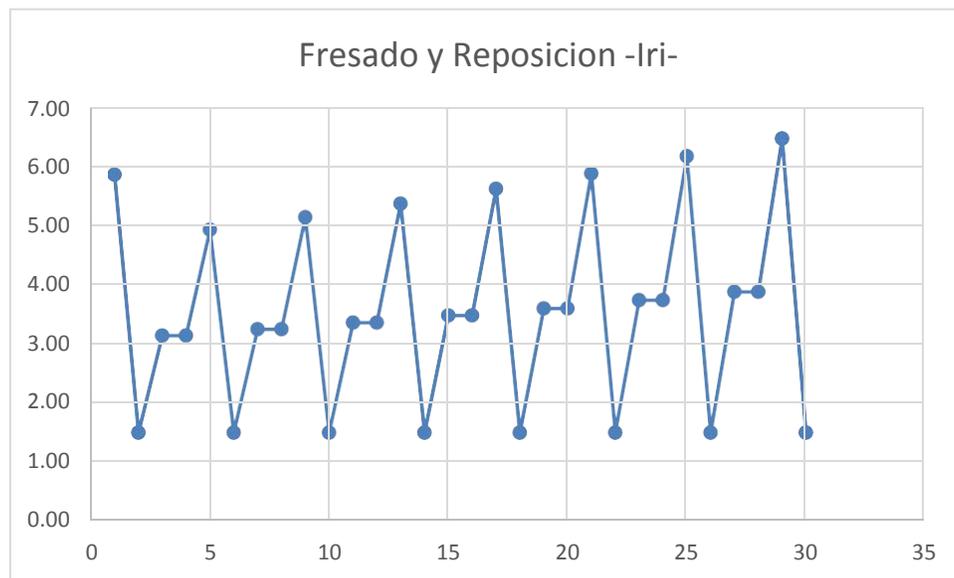


Figura 3.23: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Reposición” Tramo Sur – Norte Km. 2+360 – 3+180.

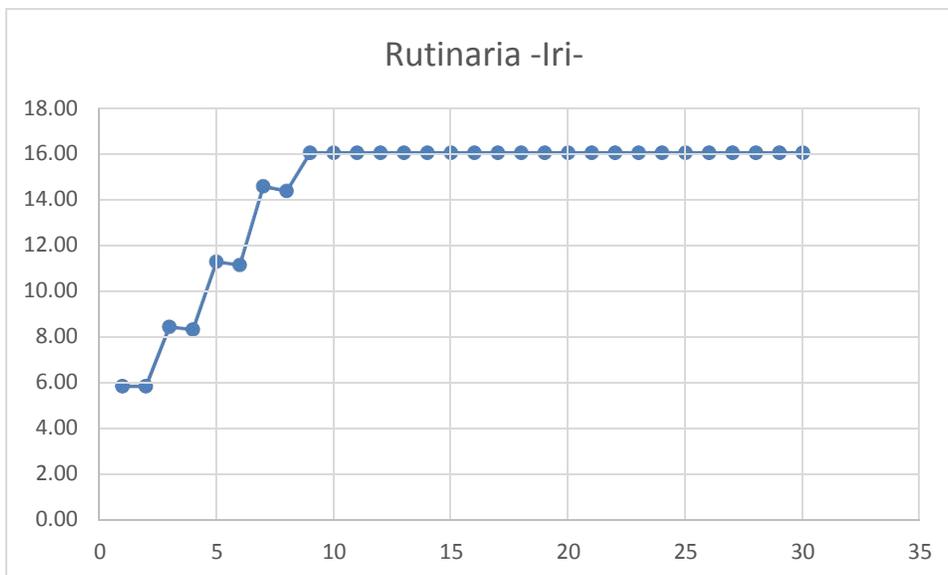


Figura 3.24: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 2+360 – 3+180.

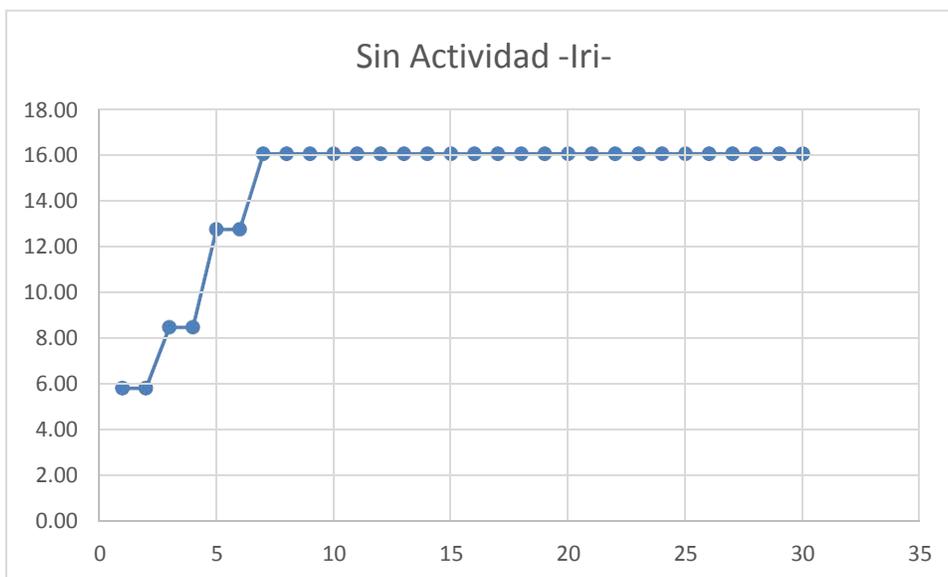


Figura 3.25: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Sur – Norte Km. 2+360 – 3+180.

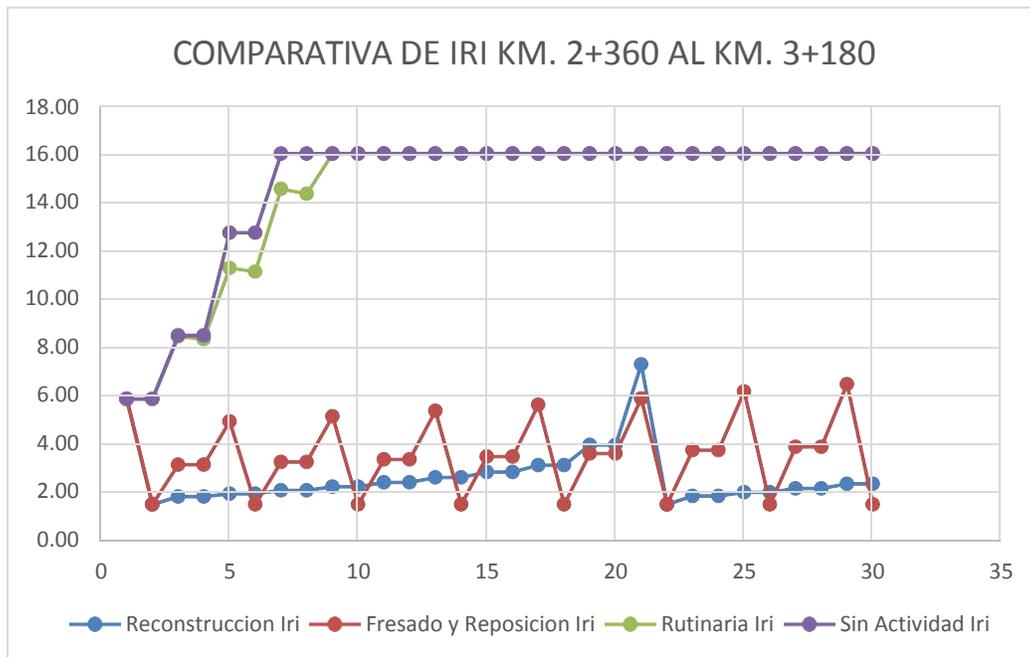


Figura 3.26: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Sur – Norte Km. 2+360 – 3+180.

En la figura 3.26 se muestra la comparativa de las actividades estudiadas en el presente proyecto, como se aprecia en esta figura la opción de reconstrucción con dos intervenciones a lo largo de 15 años logra mantener el IRI por debajo de 3 aproximadamente.

La opción de fresado y reposición logra mantener el IRI por debajo de 4 pero con picos trianuales muy próximos a un valor de IRI de 5, sin embargo por la fatiga estructural este valor se incrementa a valores de IRI próximos a 7 después de 15 años de proyección y continuando a la alta con el paso de los años.

Las opciones de conservación rutinaria y sin actividad en los primeros tres años llegan a niveles de IRI del orden de 16.

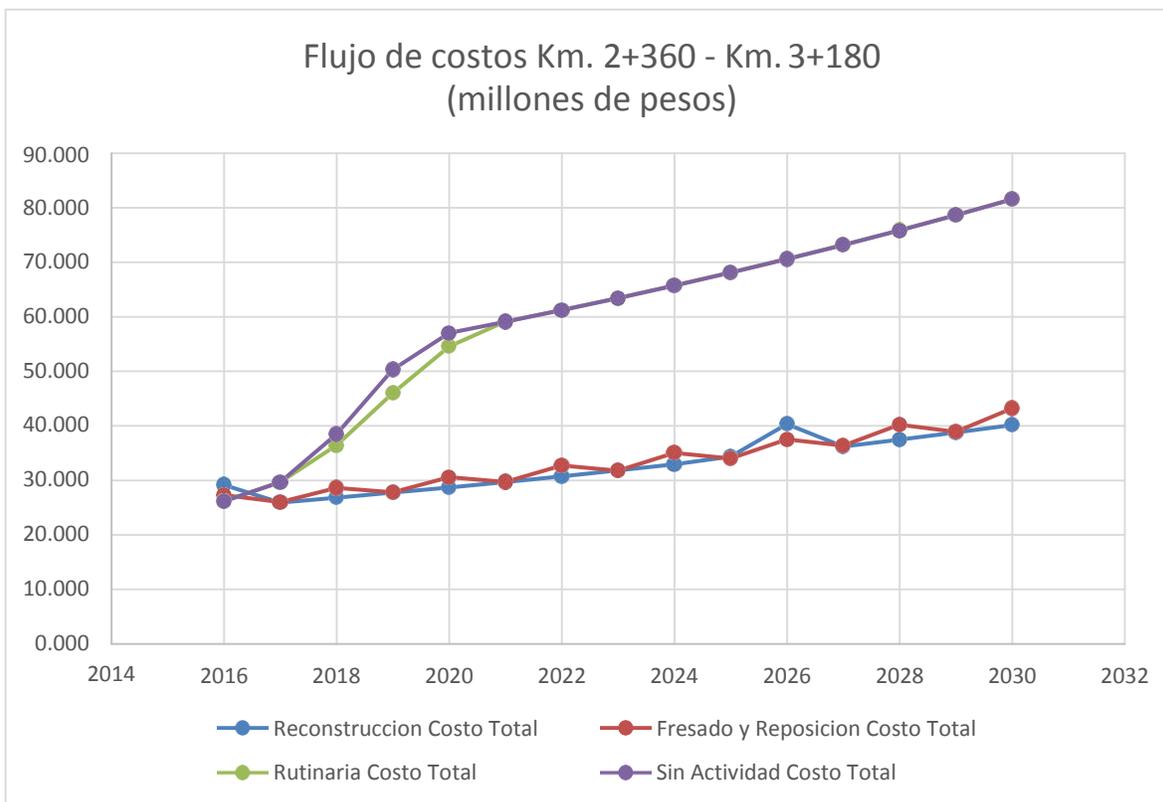


Figura 3.27: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Sur – Norte Km. 2+360 – 3+180.

En la figura 3.27 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto, considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares, llegando a ser superiores los correspondientes a fresado y reposición.

Se puede apreciar que el hecho de no invertir en la vialidad nos incrementa los costos en un aproximado de 100 millones de pesos en los primeros 5 años, llegando a ser para el año 2030 un aproximado de 1000 millones de pesos.

3.3.9.4 TRAMO SUR NORTE KM 3+180 AL KM 4+900.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el tramo comprendido del Km 3+180 al Km 4+900 sentido Sur Norte (figuras 3.28 a 3.32).

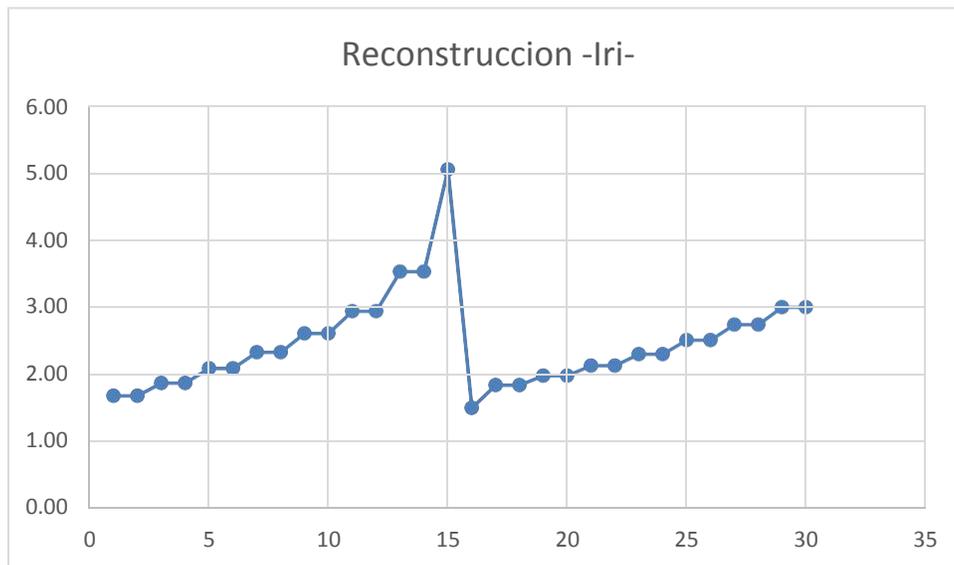


Figura 3.28: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 3+180 – 4+900.

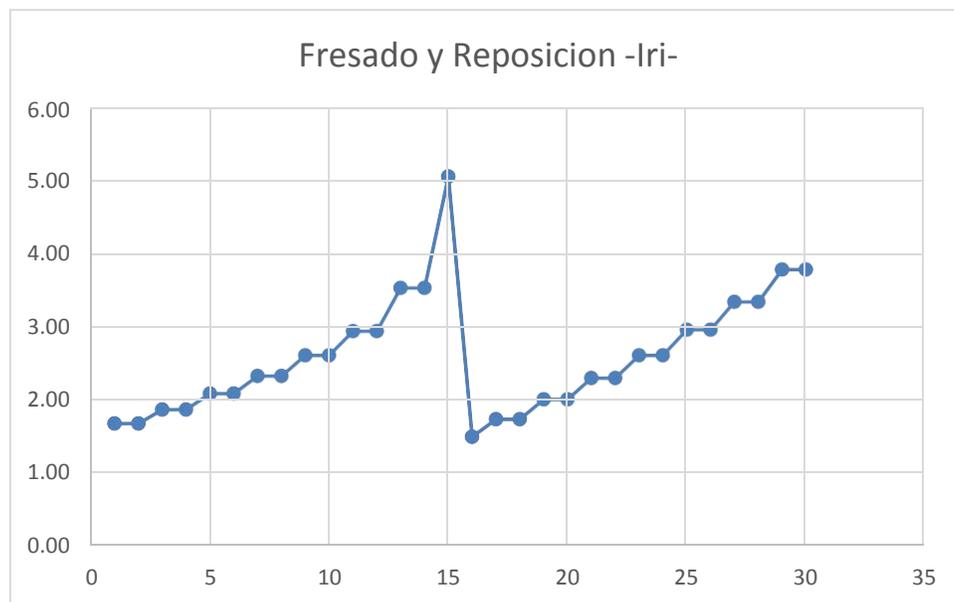


Figura 3.29: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Recuperación” Tramo Sur – Norte Km. 3+180 – 4+900.

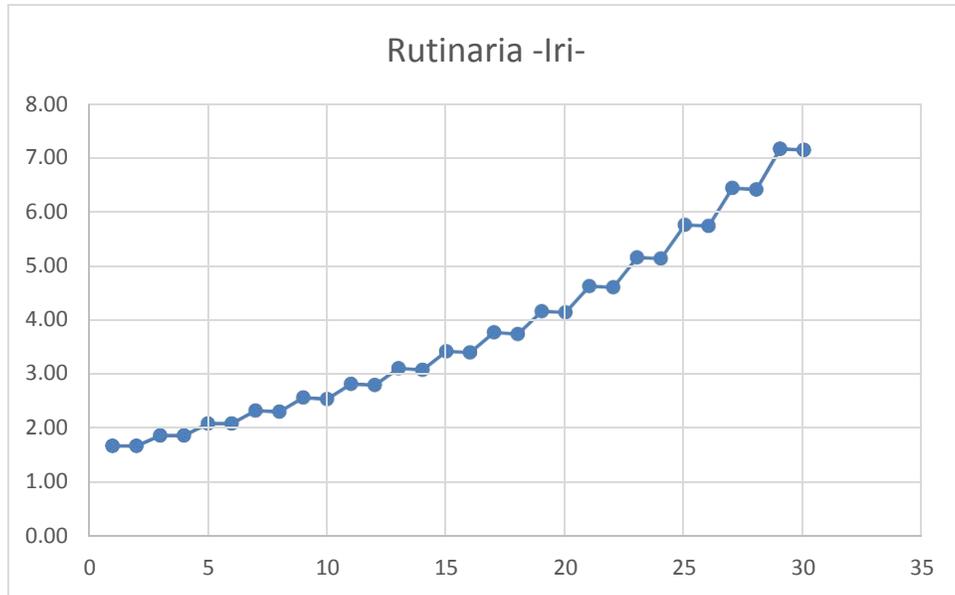


Figura 3.30: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 3+180 – 4+900.

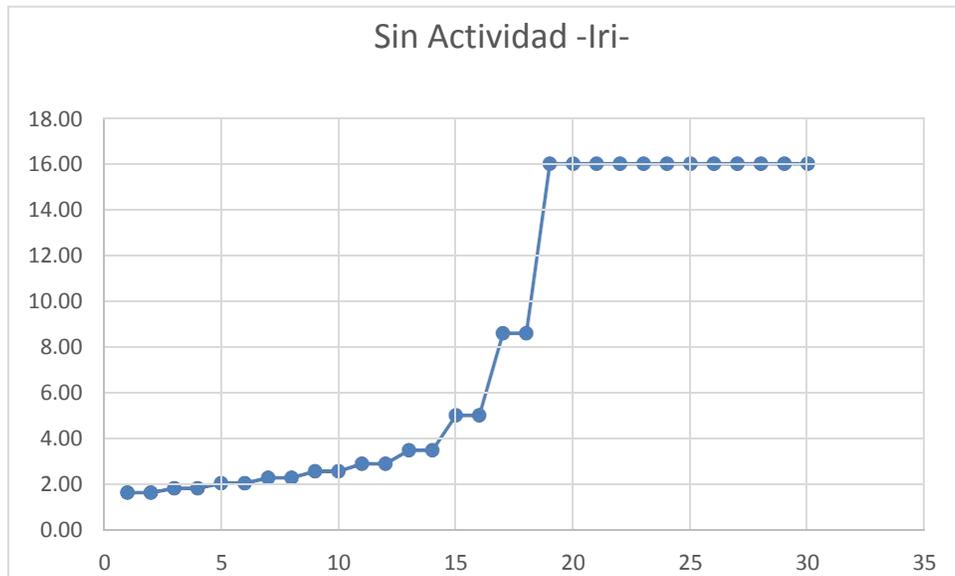


Figura 3.31: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Sur – Norte Km. 3+180 – 4+900.

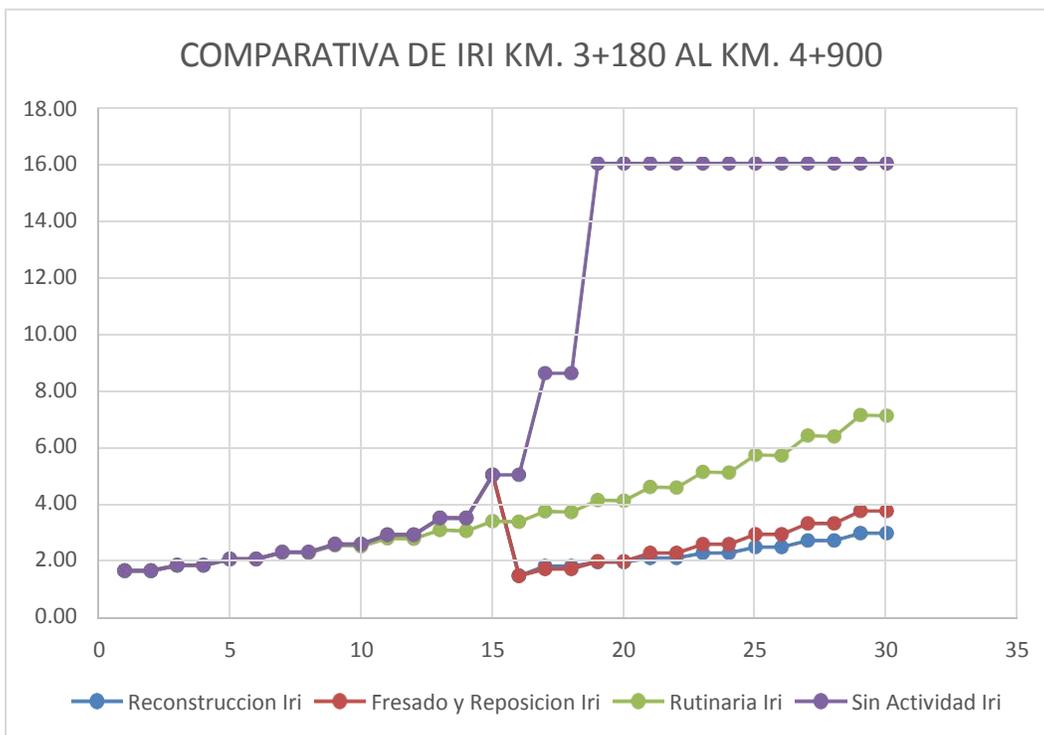


Figura 3.32: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Sur – Norte Km. 3+180 – 4+900.

En la figura 3.32 se muestra la comparativa de las actividades estudiadas en el presente proyecto, como se aprecia en esta figura este es el tramo con las mejores condiciones por lo que con solo una intervención a lo largo de 15 años logra mantener el IRI por debajo de 4 aproximadamente.

La opción de fresado y reposición logra mantener el IRI por debajo de 4 pero con una tendencia a superar este valor con el paso de los años.

En este tramo en particular la opción de conservación rutinaria muestra su claridad su efectividad, ya que después de 15 años de estudio mantiene un IRI próximo a 7 por lo que si no se planea una intervención de mayor envergadura el mantener este tramo con conservación rutinaria lo mantendría en condiciones casi aceptables.

Por otro lado la alternativa sin actividad mantiene niveles aceptables hasta el año 2023 aproximadamente donde la falta de mantiene hace que de forma abrupta el tramo llegue a niveles de IRI del orden de 16.

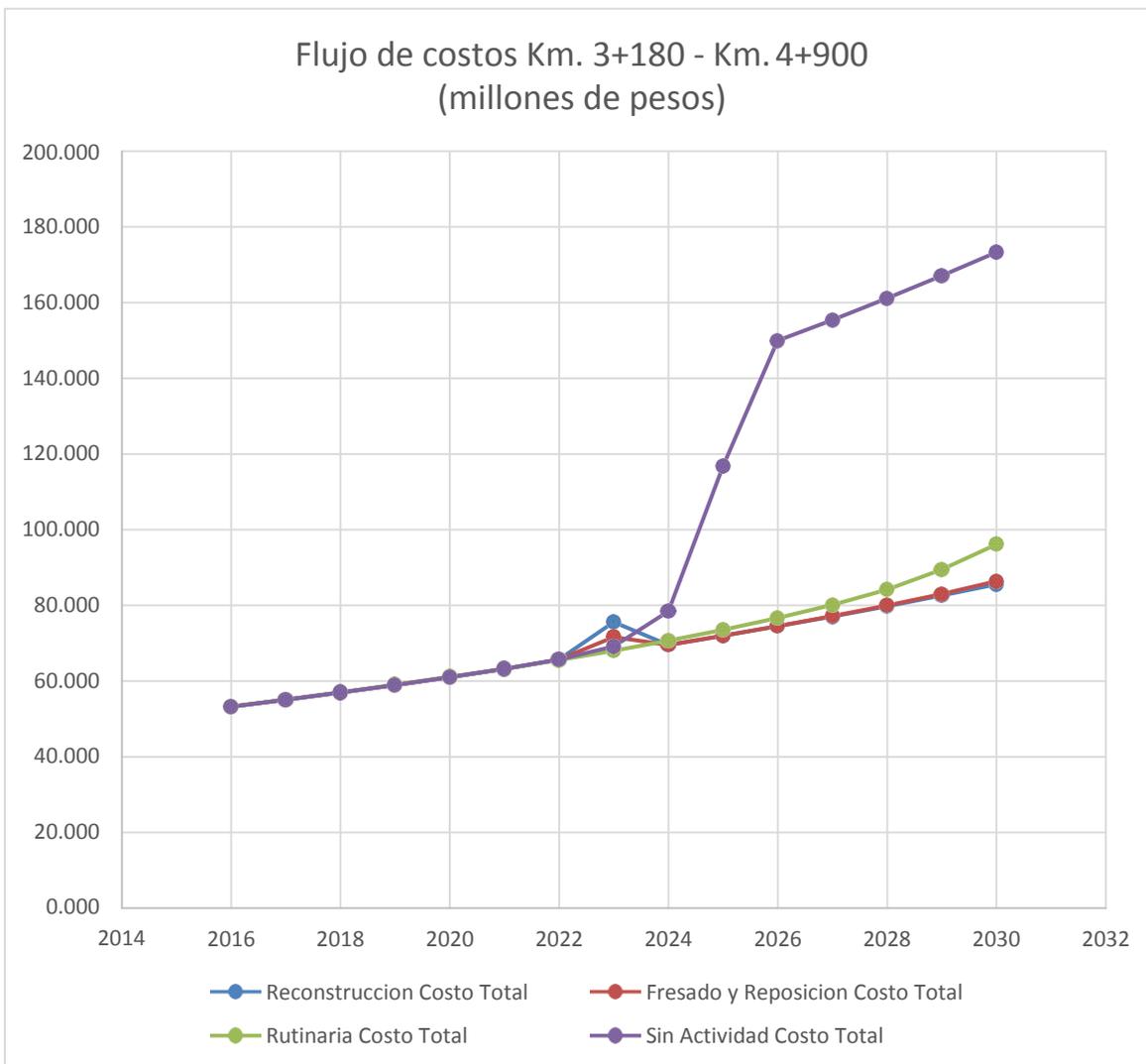


Figura 3.33: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Sur – Norte Km. 3+180 – 4+900.

En la figura 3.33 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto, considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares.

Se puede apreciar que el hecho de no invertir nada en la vialidad nos incrementa los costos a partir del año 2024 un aproximado de 60 millones por años, llegando a ser para el año 2030 un aproximado de 360 millones de pesos.

3.3.9.5 TRAMO SUR NORTE KM 4+940 AL KM 5+560.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el tramo comprendido del Km 4+940 al Km 5+560 sentido Sur Norte (figuras 3.34 a 3.38).

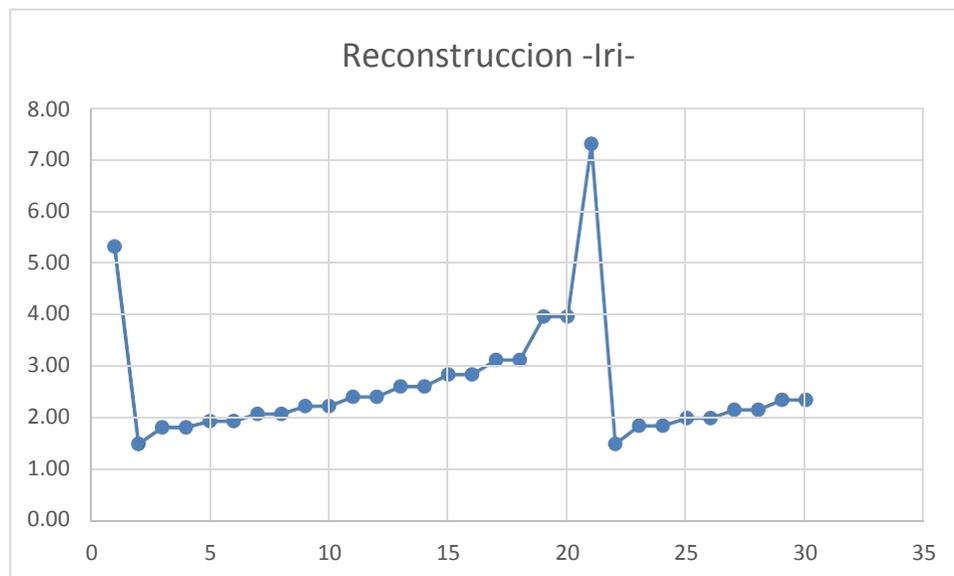


Figura 3.34: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 4+940 – 5+560.

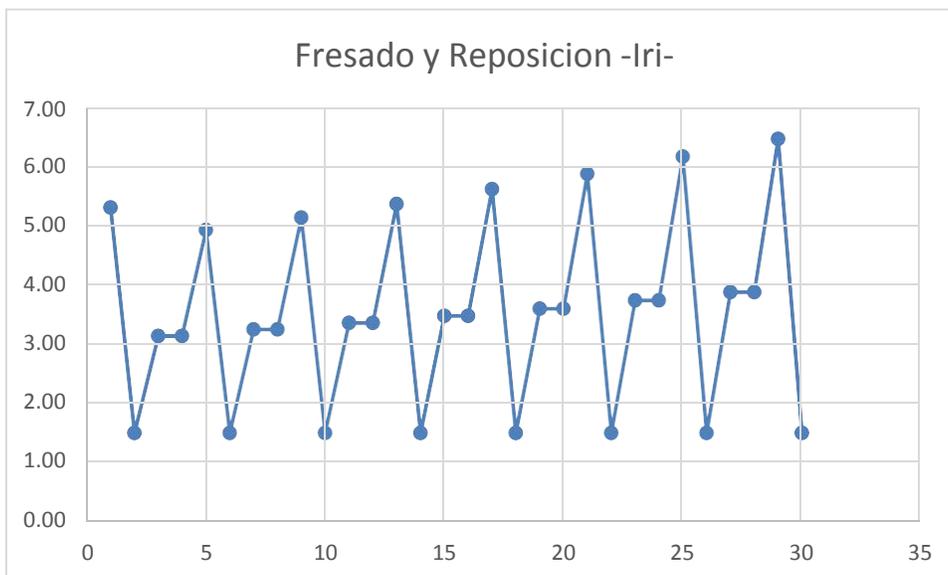


Figura 3.35: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Recuperación” Tramo Sur – Norte Km. 4+940 – 5+560.

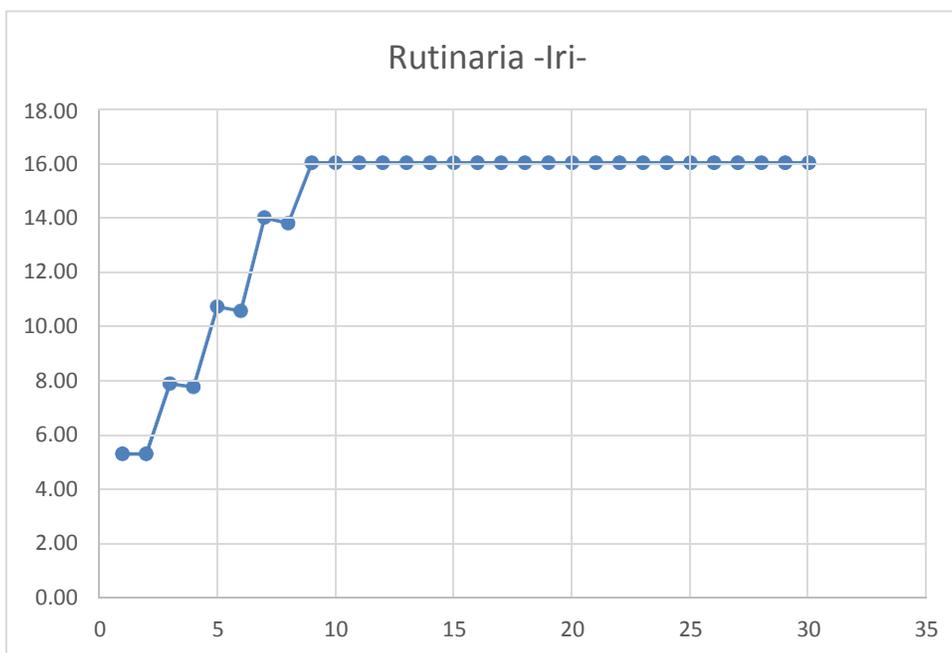


Figura 3.36: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 4+940 – 5+560.

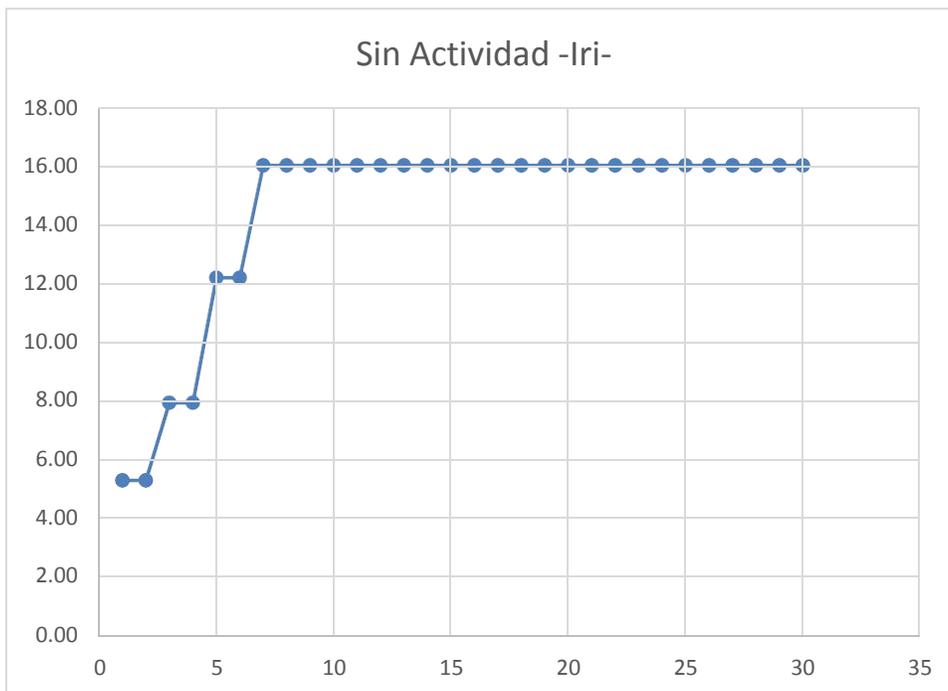


Figura 3.37: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Sur – Norte Km. 4+940 – 5+560.

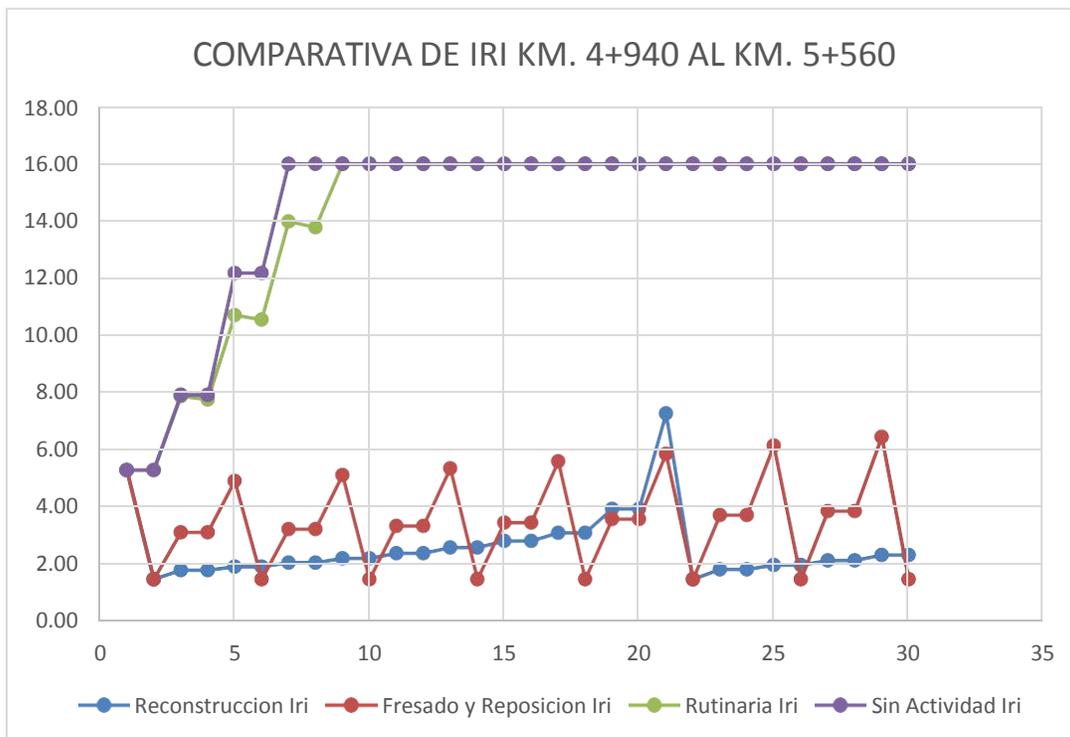


Figura 3.38: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Sur – Norte Km. 4+940 – 5+560.

En las figura 3.38 se muestra la comparativa de las actividades estudiadas en el presente proyecto, como se aprecia en esta figura la opción de reconstrucción con dos intervenciones a lo largo de 15 años logra mantener el IRI por debajo de 3 aproximadamente.

La opción de fresado y reposición logra mantener el IRI por debajo de 4 pero con picos trianuales comprendidos en un principio muy próximos a un valor de IRI de 5, sin embargo por la fatiga estructural este valor se incrementa a valores de IRI próximos a 7 después de 15 años de proyección y continuando a la alta con el paso de los años.

Las opciones de conservación rutinaria y sin actividad en los primeros tres años llegan a niveles de IRI del orden de 16.

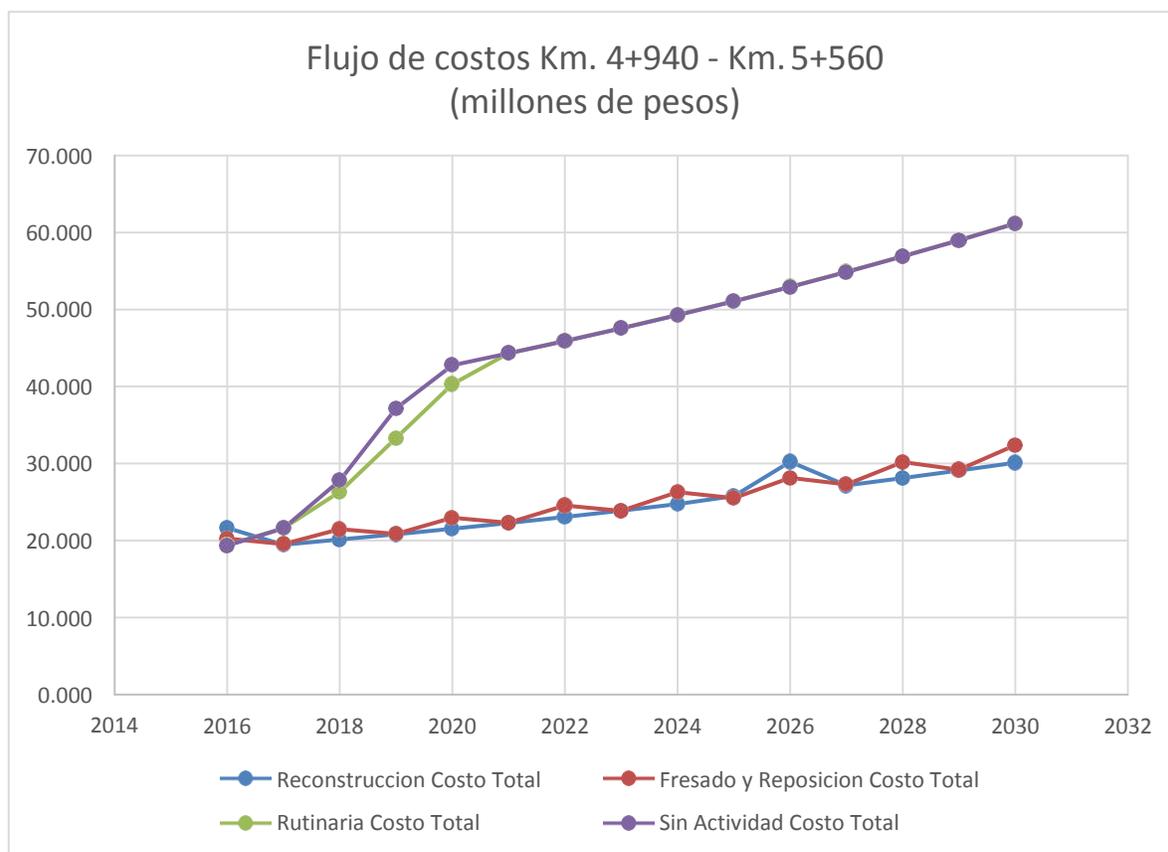


Figura 3.39: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Sur – Norte Km. 4+940 – 5+560.

En la figura 3.39 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto, considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares, llegando a ser superiores los correspondientes a fresado y reposición.

Se puede apreciar que el hecho de no invertir en la vialidad nos incrementa los costos en un aproximado de 70 millones de pesos en los primeros 5 años, llegando a ser para el año 2030 un aproximado de 400 millones de pesos.

3.3.9.6 TRAMO SUR NORTE KM 5+600 AL KM 7+170.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el tramo comprendido del Km 5+600 al Km 7+170 sentido Sur Norte (figuras 3.40 a 3.44).

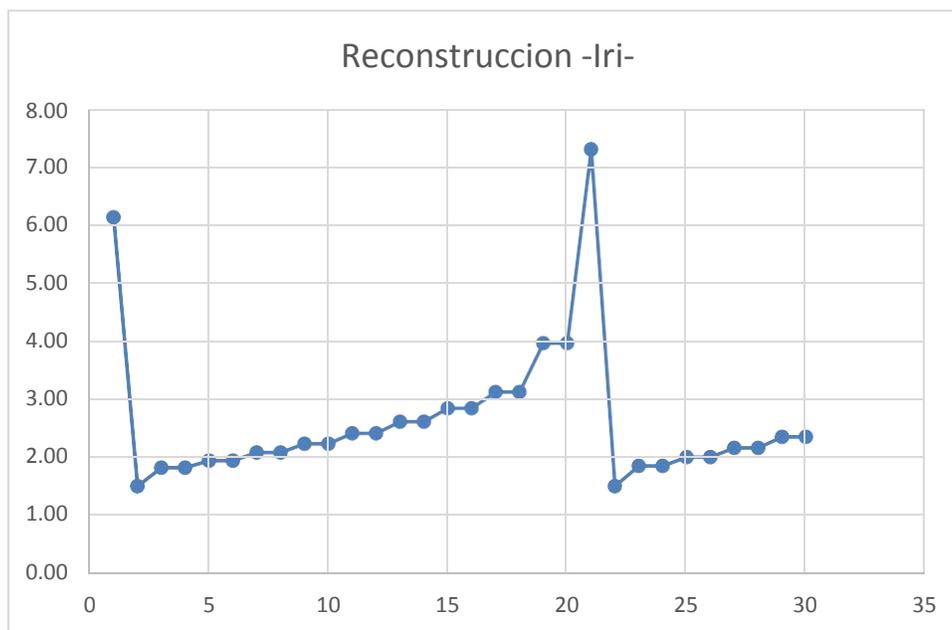


Figura 3.40: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Sur – Norte Km. 5+600 – 7+170.

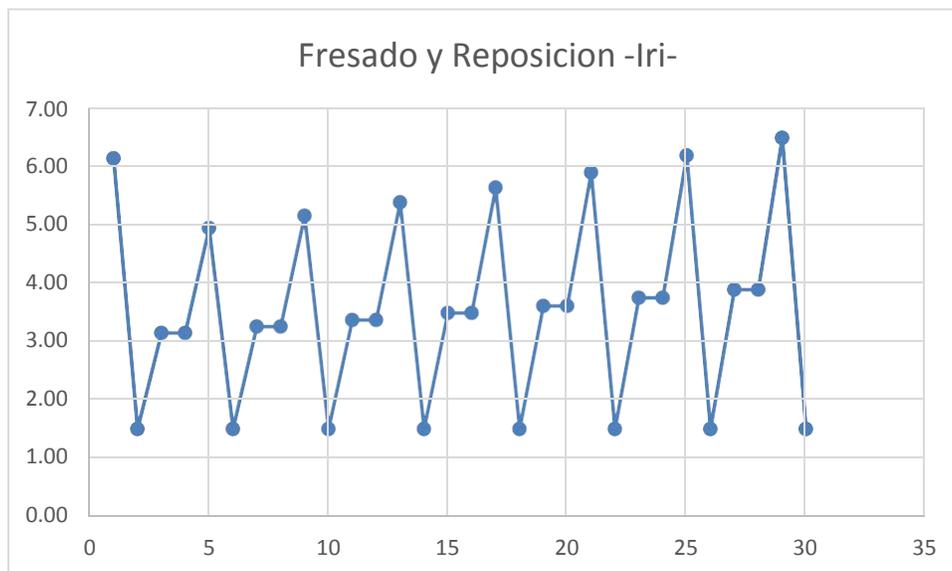


Figura 3.41: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Recuperación” Tramo Sur – Norte Km. 5+600 – 7+170.

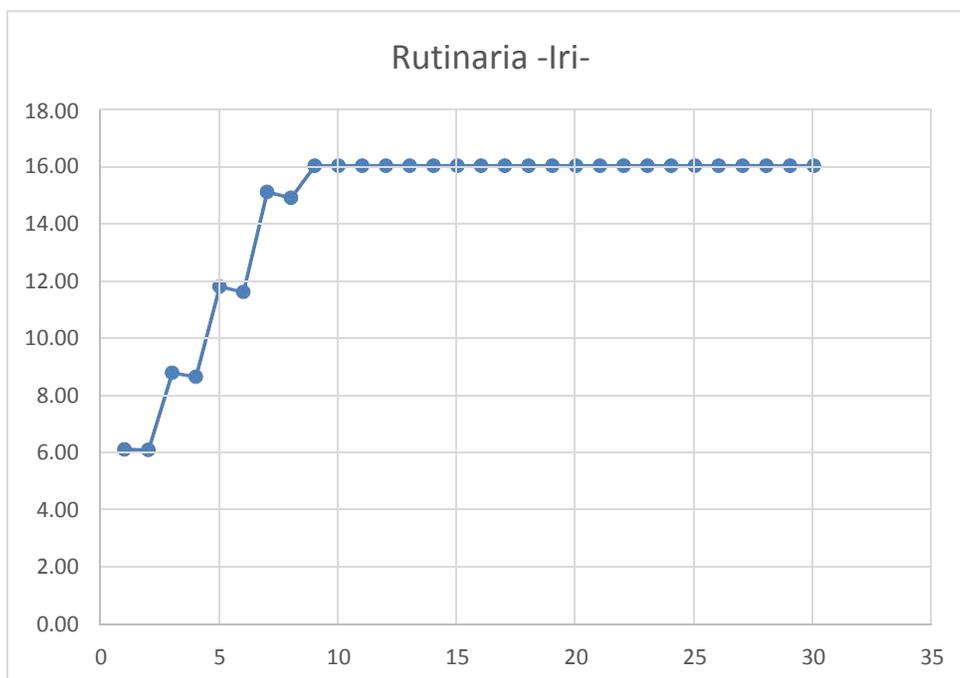


Figura 3.42: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Sur – Norte Km. 5+600 – 7+170.

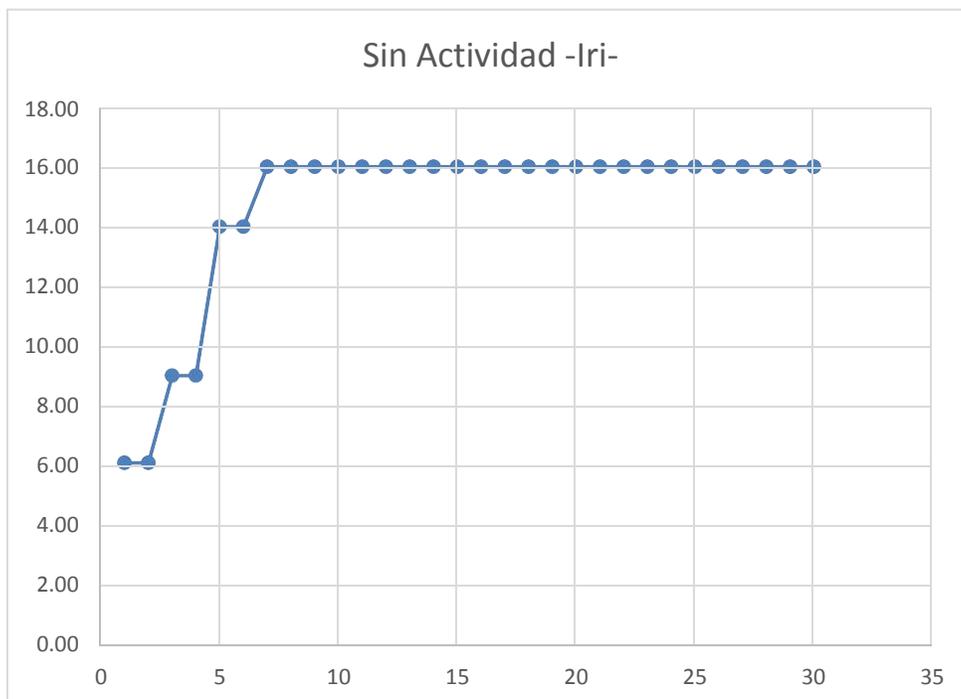


Figura 3.43: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Sur – Norte Km. 5+600 – 7+170.

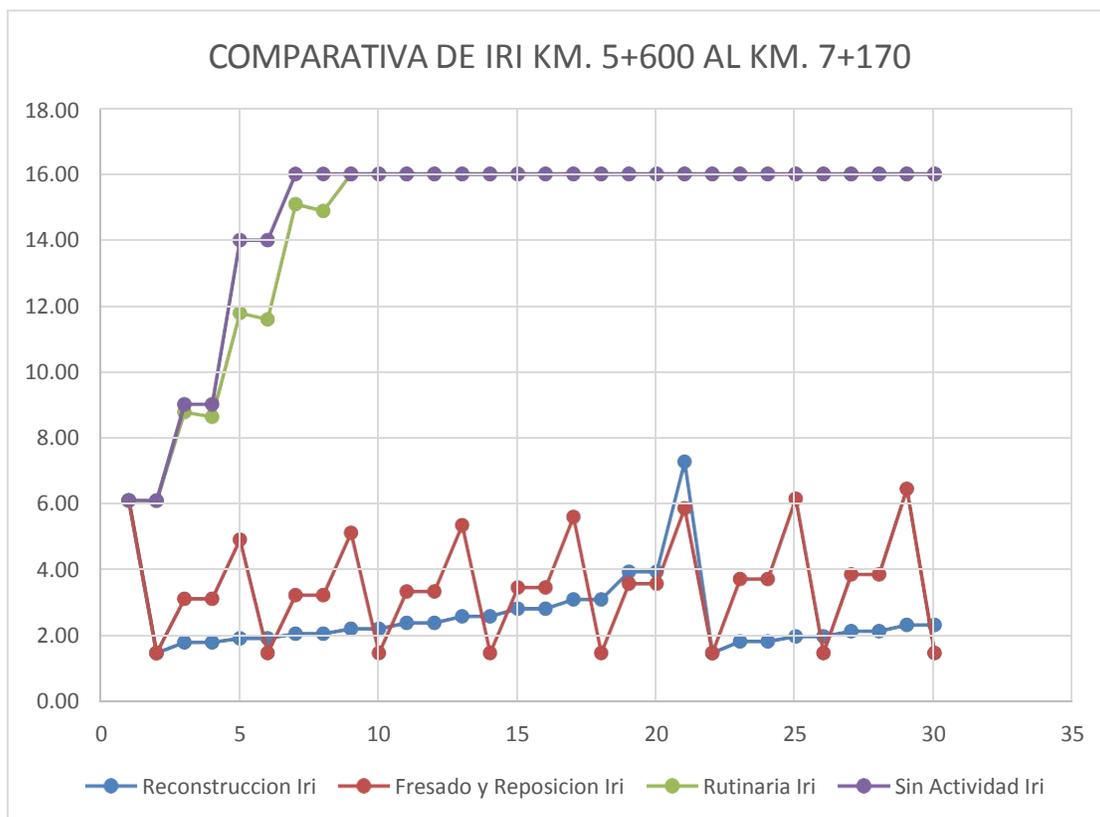


Figura 3.44: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Sur – Norte Km. 5+600 – 7+170.



En la figura 3.44 se muestra la comparativa de las actividades estudiadas en el presente proyecto, como se aprecia en esta figura la opción de reconstrucción con dos intervenciones a lo largo de 15 años logra mantener el IRI por debajo de 3 aproximadamente.

La opción de fresado y reposición logra mantener el IRI por debajo de 4 pero con picos trianuales comprendidos en un principio muy próximos a un valor de IRI de 5, sin embargo por la fatiga estructural este valor se incrementa a valores de IRI próximos a 7 después de 15 años de proyección y continuando a la alta con el paso de los años.

Las opciones de conservación rutinaria y sin actividad en los primeros tres años llegan a niveles de IRI del orden de 16.

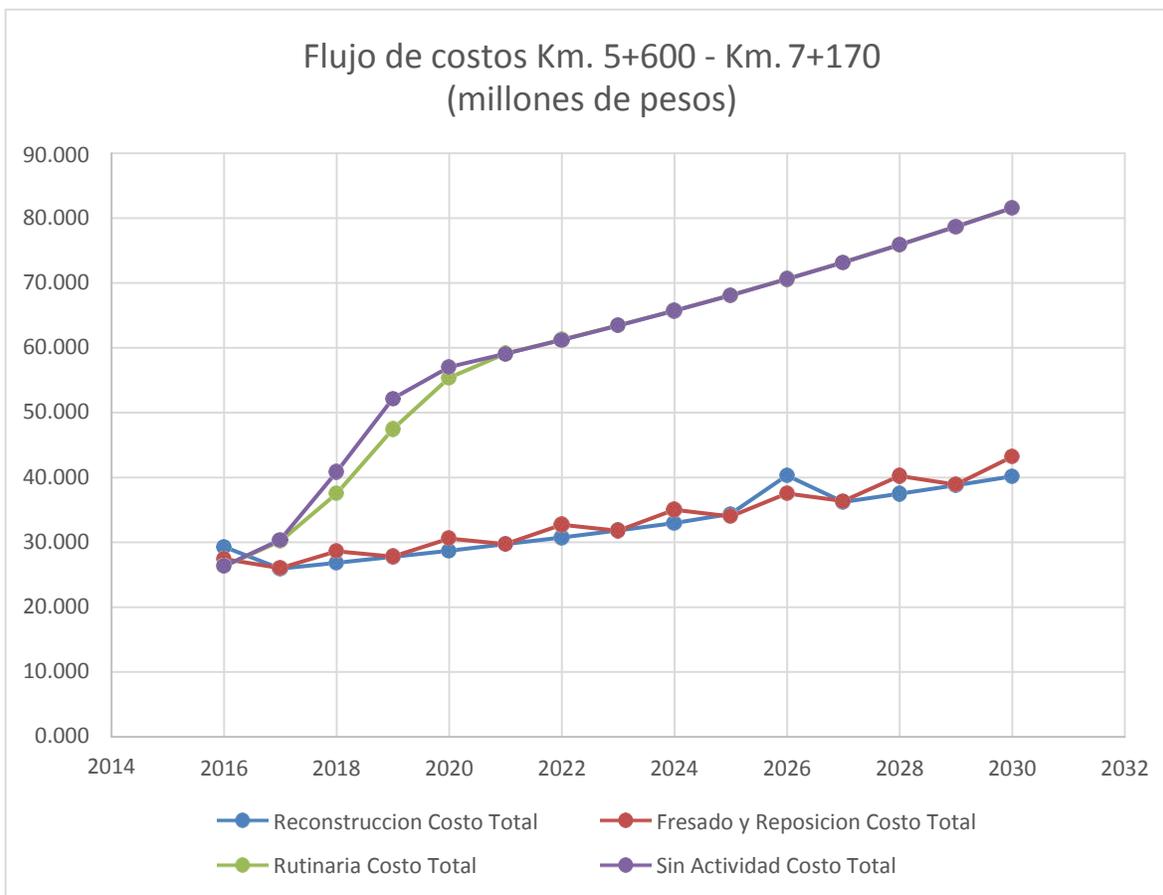


Figura 3.45: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Sur – Norte Km. 5+600 – 7+170.

En la figura 3.45 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto, considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares, llegando a ser superiores los correspondientes a fresado y reposición.

Se puede apreciar que el hecho de no invertir en la vialidad nos incrementa los costos en un aproximado de 50 millones de pesos en los primeros 5 años, llegando a ser para el año 2030 un aproximado de 500 millones de pesos.

3.3.9.7 TRAMO NORTE SUR KM 0+000 AL KM 0+800.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el tramo comprendido del Km 0+000 al Km 0+800 sentido Norte Sur (figuras 3.46 a 3.50).

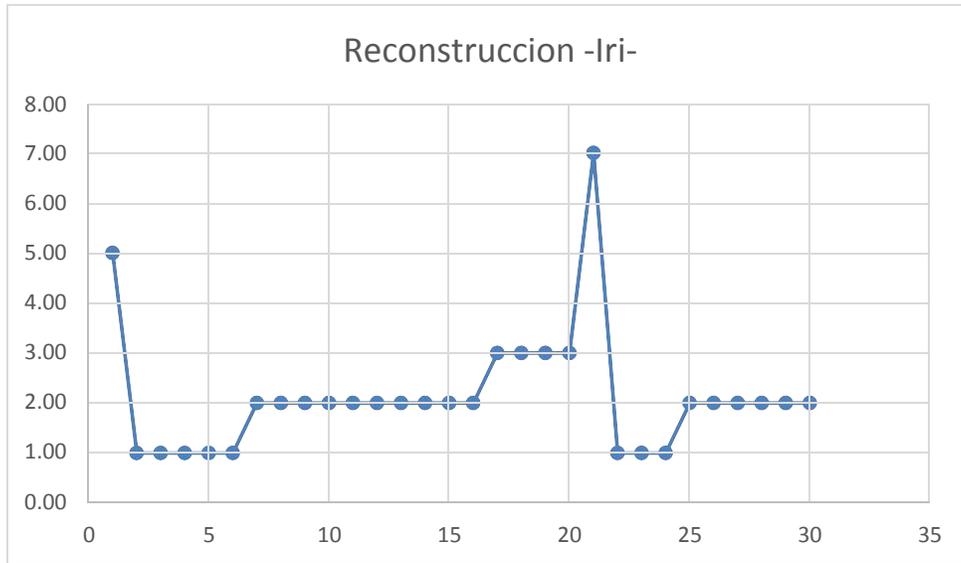


Figura 3.46: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 0+000 – 0+800.

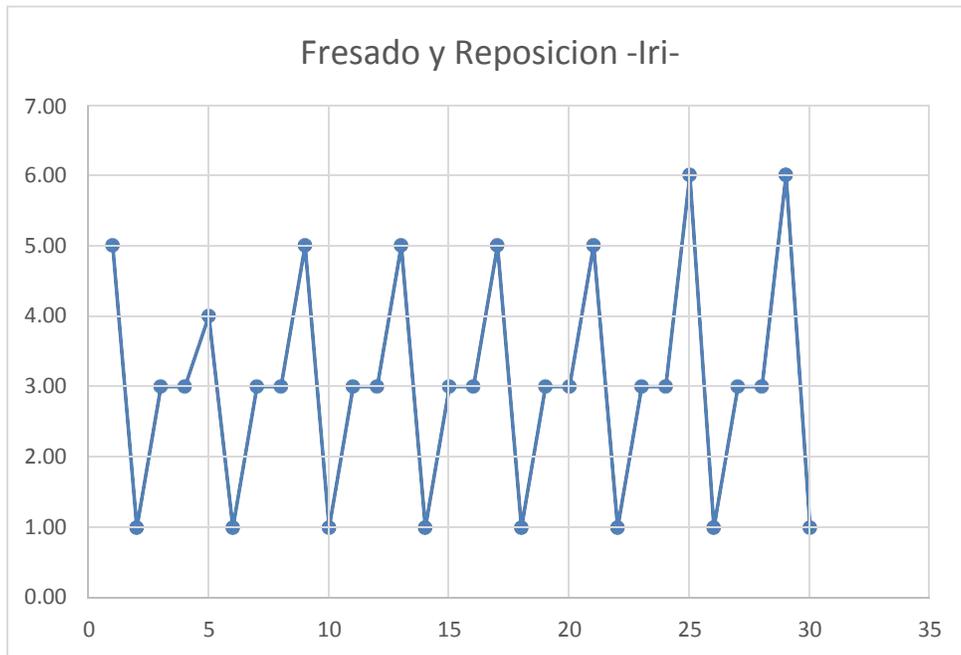


Figura 3.47: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Recuperación” Tramo Norte – Sur Km. 0+000 – 0+800.

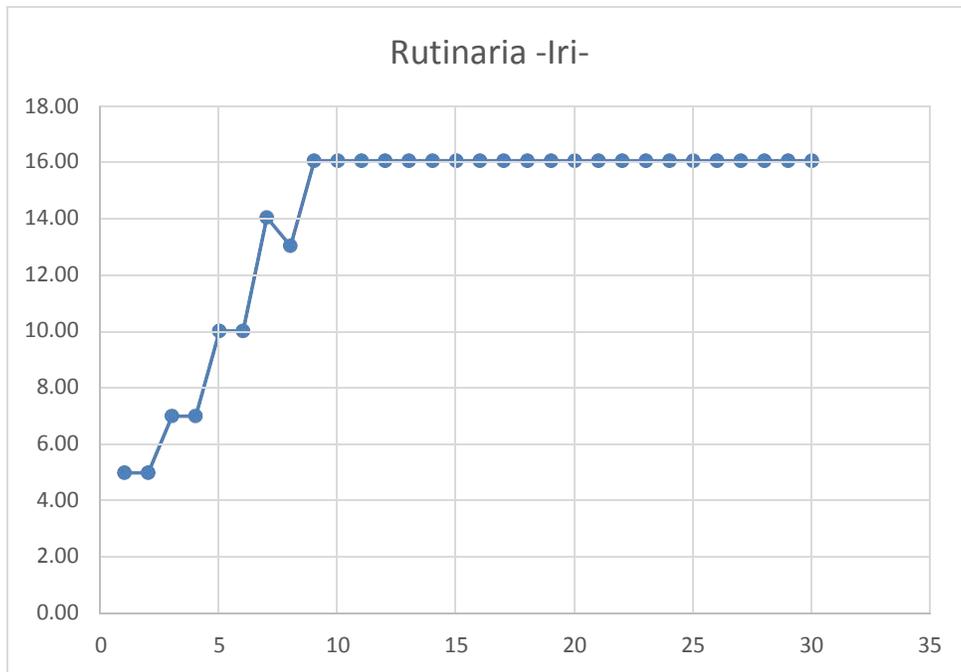


Figura 3.48: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 0+000 – 0+800.

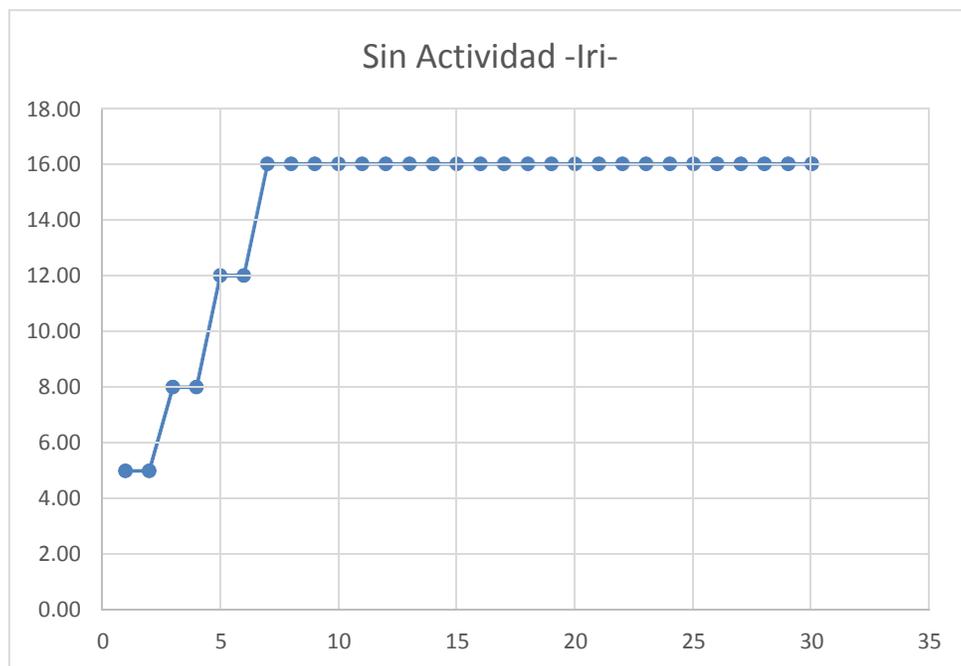
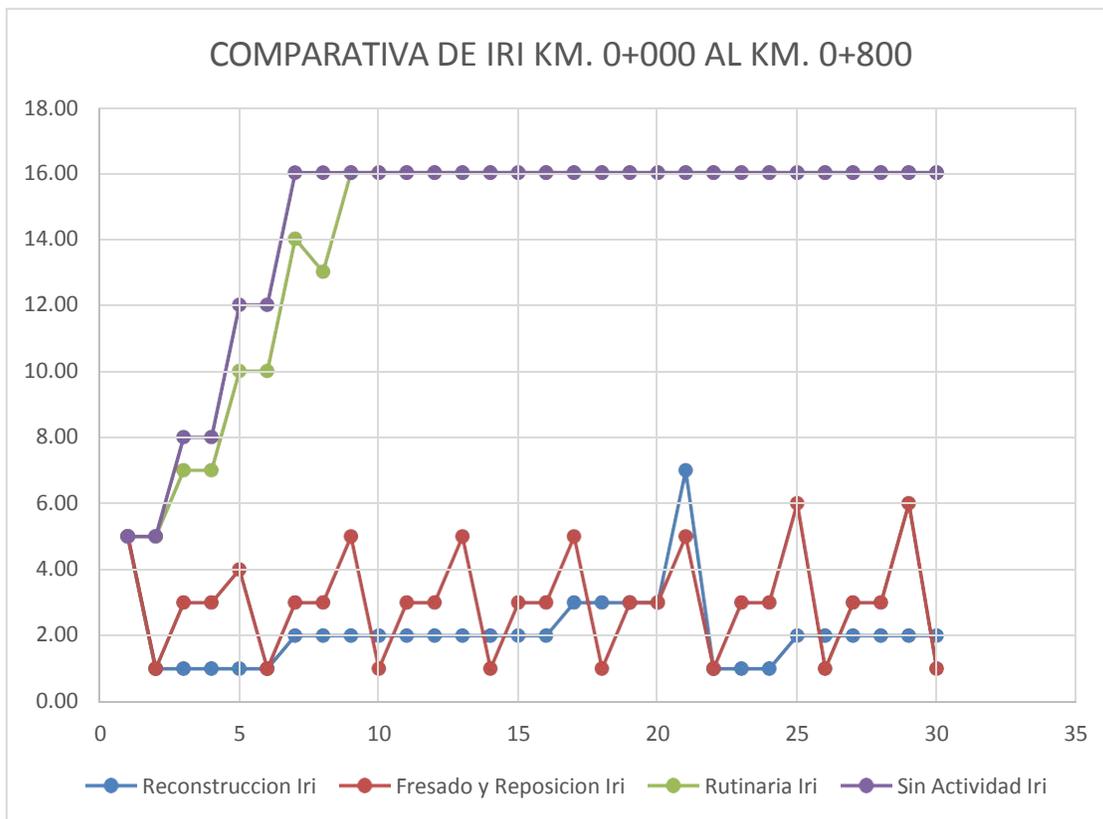


Figura 3.49: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 0+000 – 0+800



.Figura 3.50: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 0+000 – 0+800.

En la figura 3.50 se muestra la comparativa de las actividades estudiadas en el presente proyecto, como se aprecia en esta figura la opción de reconstrucción con dos intervenciones a lo largo de 15 años logra mantener el IRI por debajo de 3 aproximadamente.

La opción de fresado y reposición logra mantener el IRI por debajo de 4 pero con picos trianuales comprendidos en un principio muy próximos a un valor de IRI de 5, sin embargo por la fatiga estructural este valor se incrementa a valores de IRI próximos a 6 después de 15 años de proyección y continuando a la alta con el paso de los años.

Las opciones de conservación rutinaria y sin actividad en los primeros tres años llegan a niveles de IRI del orden de 16.

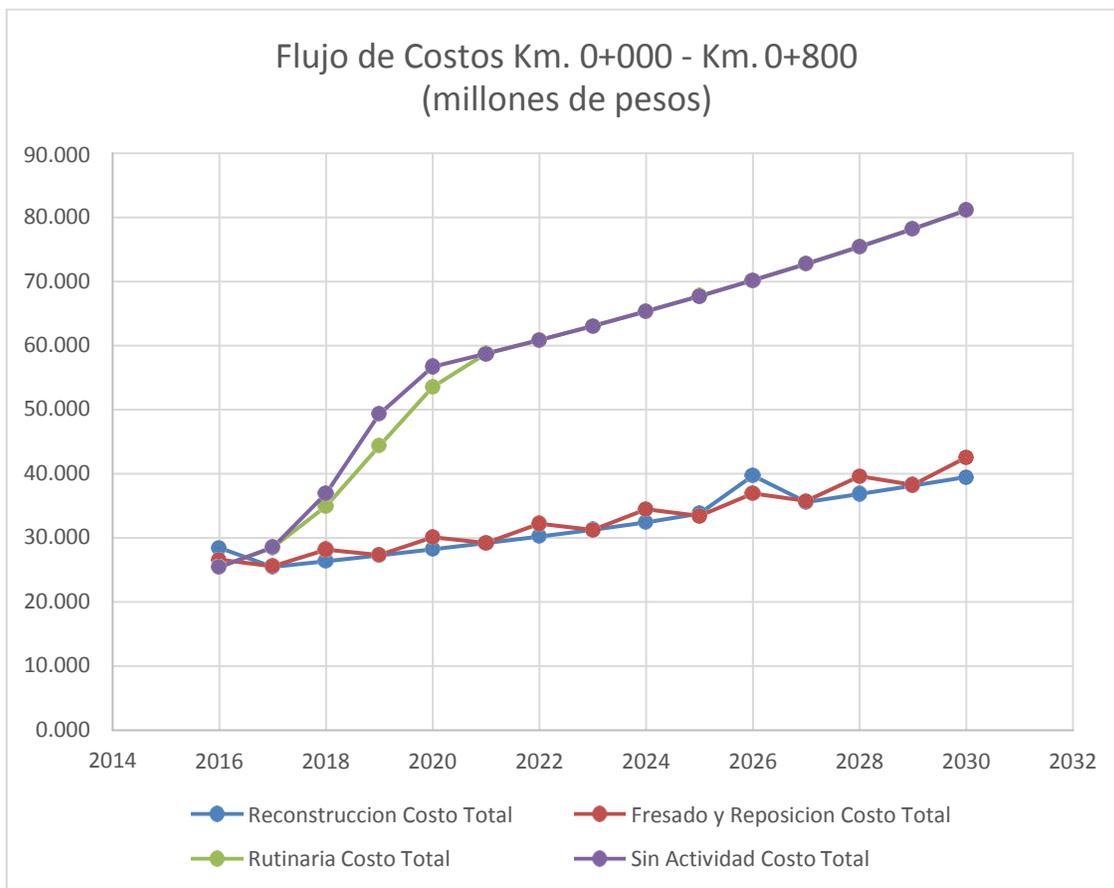


Figura 3.51: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Norte – Sur Km. 0+000 – 0+800.

En la figura 3.51 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto, considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares, llegando a ser superiores los correspondientes a fresado y reposición.

Se puede apreciar que el hecho de no invertir en la vialidad nos incrementa los costos en un aproximado de 50 millones de pesos en los primeros 5 años, llegando a ser para el año 2030 un aproximado de 600 millones de pesos.

3.3.9.8 TRAMO NORTE SUR KM 0+800 AL KM 2+360.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el tramo comprendido del Km 0+800 al Km 2+360 sentido Norte Sur (figuras 3.52 a 3.56).

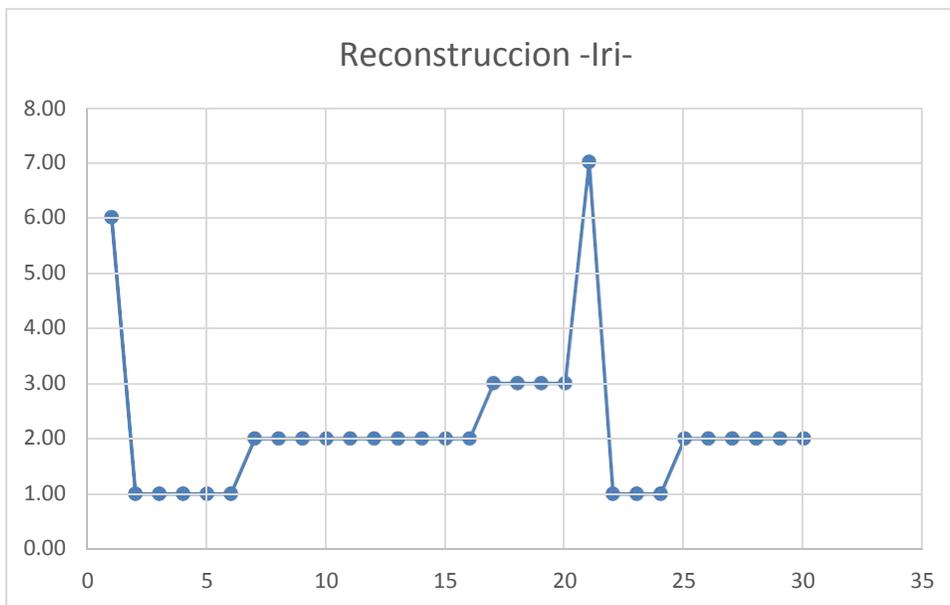


Figura 3.52: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 0+800 – 2+360.

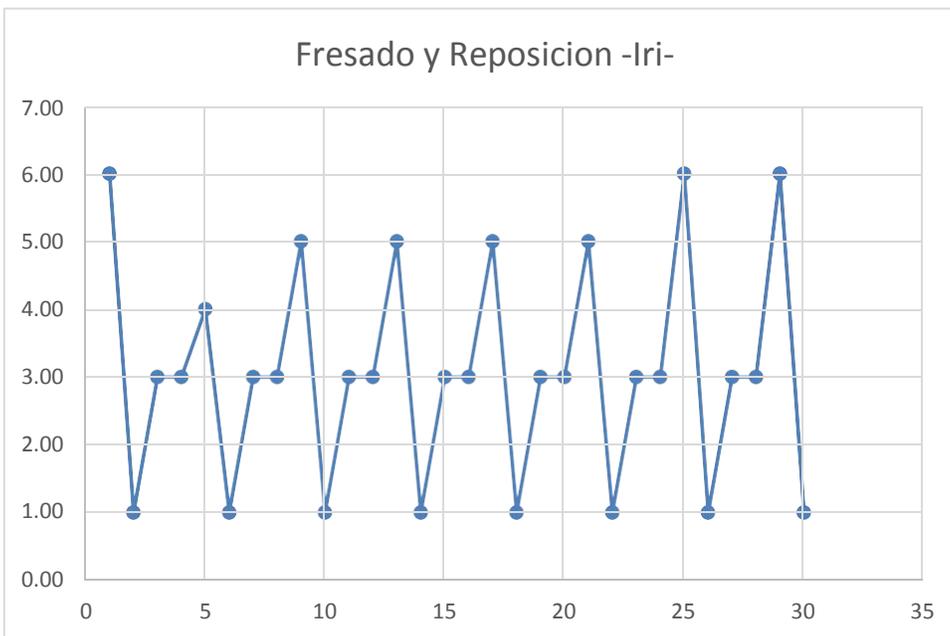


Figura 3.53: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Recuperación” Tramo Norte – Sur Km. 0+800 – 2+360.

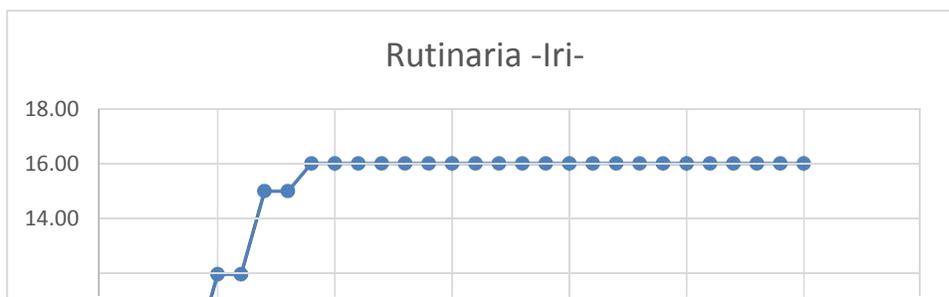




Figura 3.54: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 0+800 – 2+360.

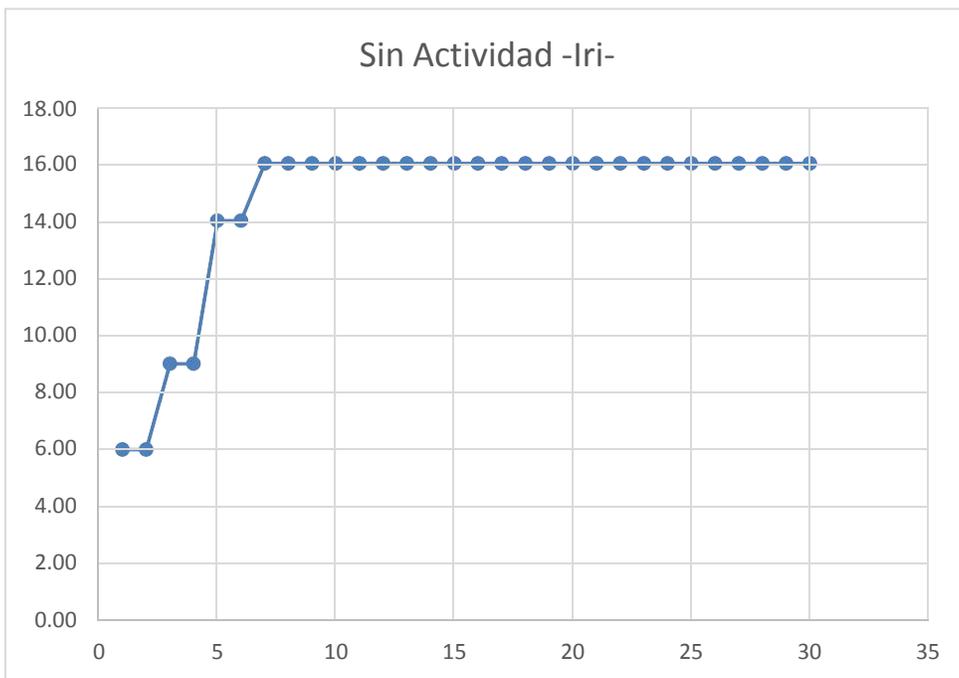


Figura 3.55: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 0+800 – 2+360.

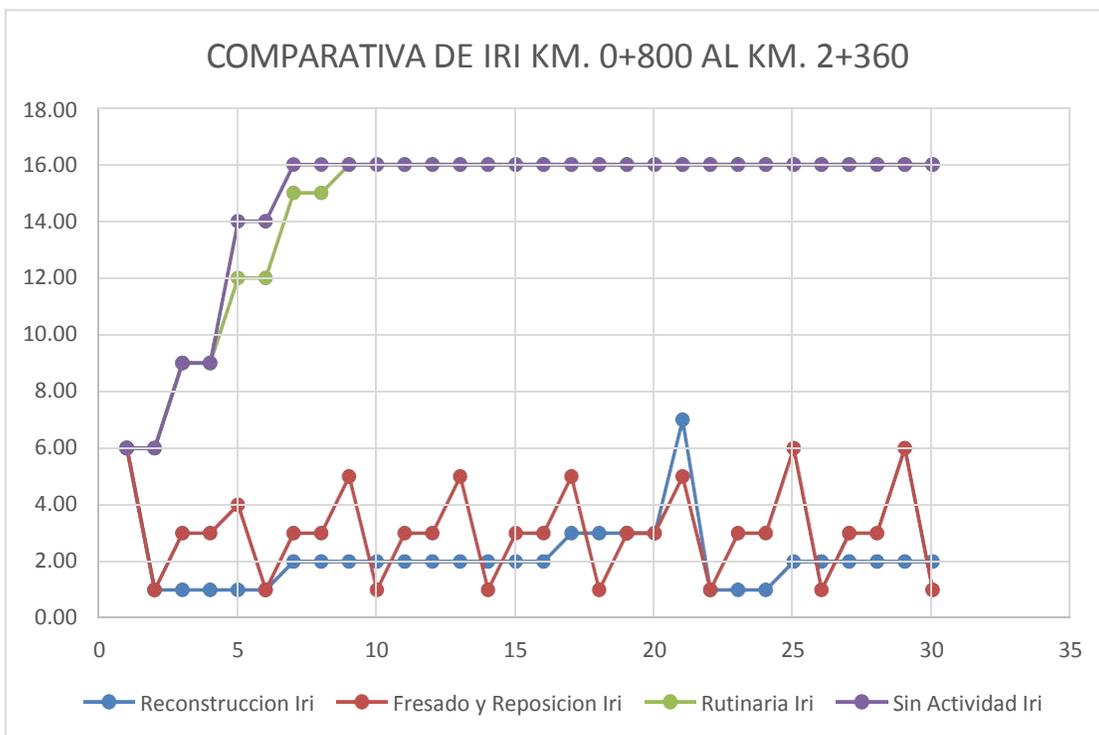


Figura 3.56: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 0+800 – 2+360.

En la figura 3.56 se muestra la comparativa de las alternativas estudiadas en el presente proyecto, como se aprecia en esta figura la opción de reconstrucción con dos intervenciones a lo largo de 15 años logra mantener el IRI por debajo de 3 aproximadamente.

La opción de fresado y reposición logra mantener el IRI por debajo de 4 pero con picos trianuales comprendidos en un principio muy próximos a un valor de IRI de 5, sin embargo por la fatiga estructural este valor se incrementa a valores de IRI próximos a 6 después de 15 años de proyección y continuando a la alta con el paso de los años.

Las opciones de conservación rutinaria y sin actividad en los primeros tres años llegan a niveles de IRI del orden de 16.

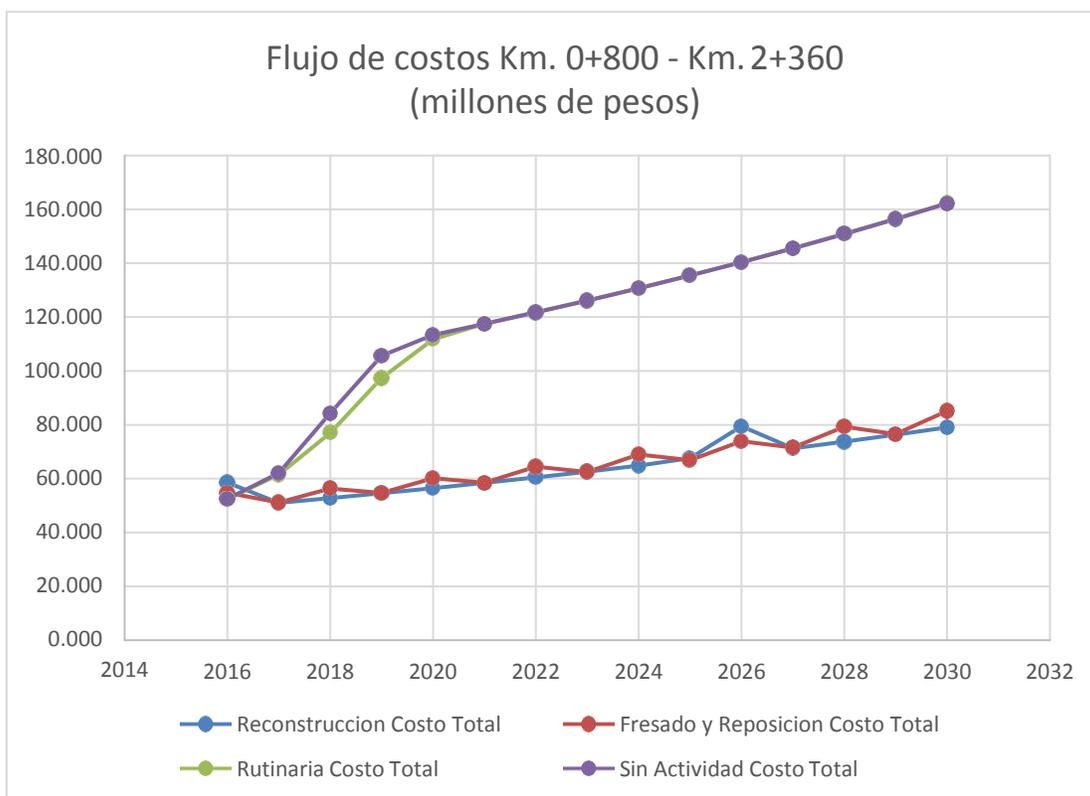


Figura 3.57: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Norte – Sur Km. 0+800 – 2+360.

En la figura 3.57 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto, considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares, llegando a ser superiores los correspondientes a fresado y reposición.

Se puede apreciar que el hecho de no invertir en la vialidad nos incrementa los costos en un aproximado de 100 millones de pesos en los primeros 5 años, llegando a ser para el año 2030 un aproximado de 1000 millones de pesos.

3.3.9.9 TRAMO NORTE SUR KM 2+360 AL KM 3+180.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el tramo comprendido del Km 2+360 al Km 3+180 sentido Norte Sur (figuras 3.58 a 3.62).

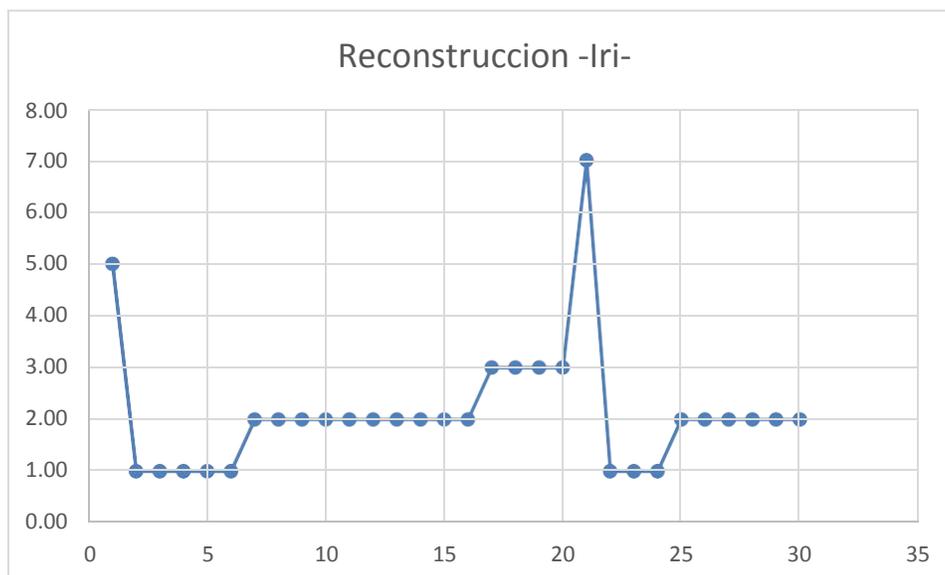


Figura 3.58: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 2+360 – 3+180.

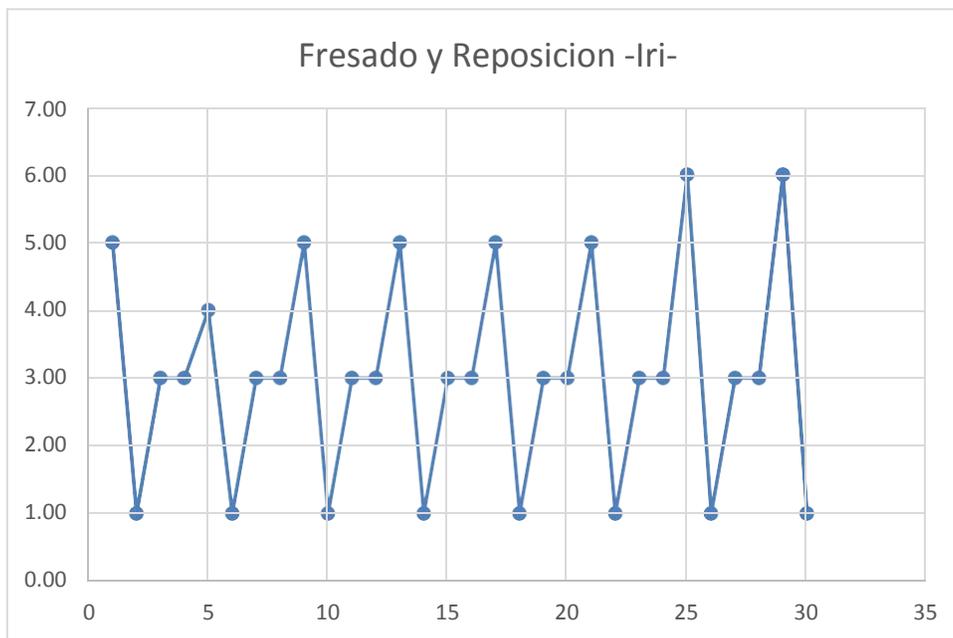


Figura 3.59: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Recuperación” Tramo Norte – Sur Km. 2+360 – 3+180.

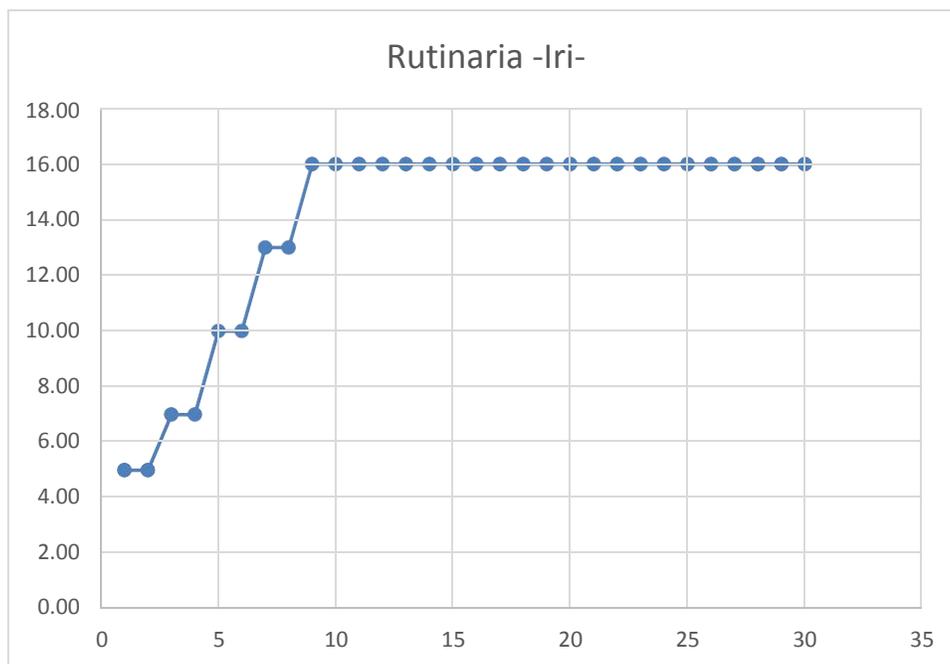


Figura 3.60: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 2+360 – 3+180.

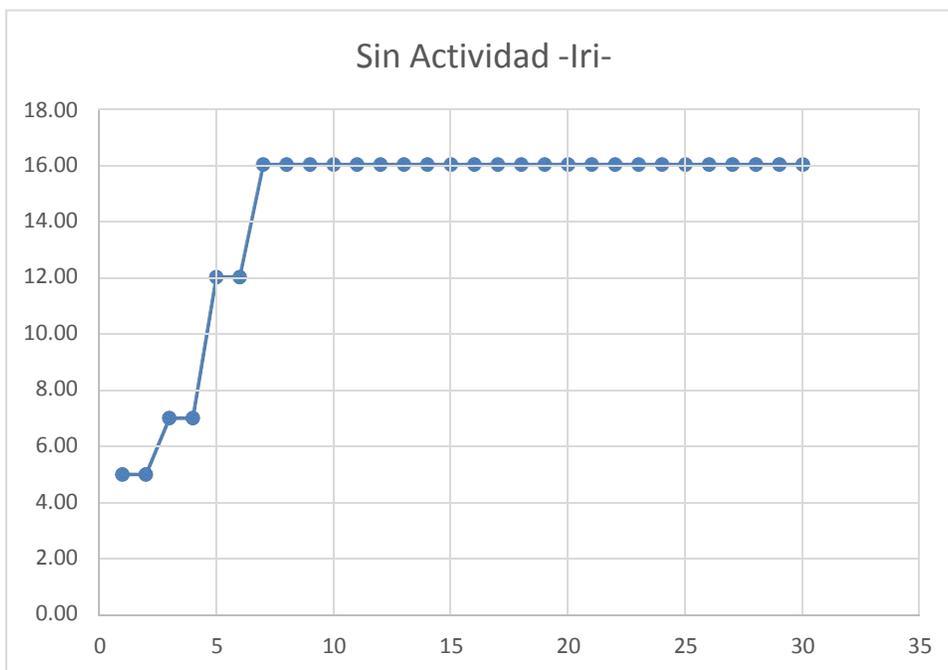


Figura 3.61: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 2+360 – 3+180

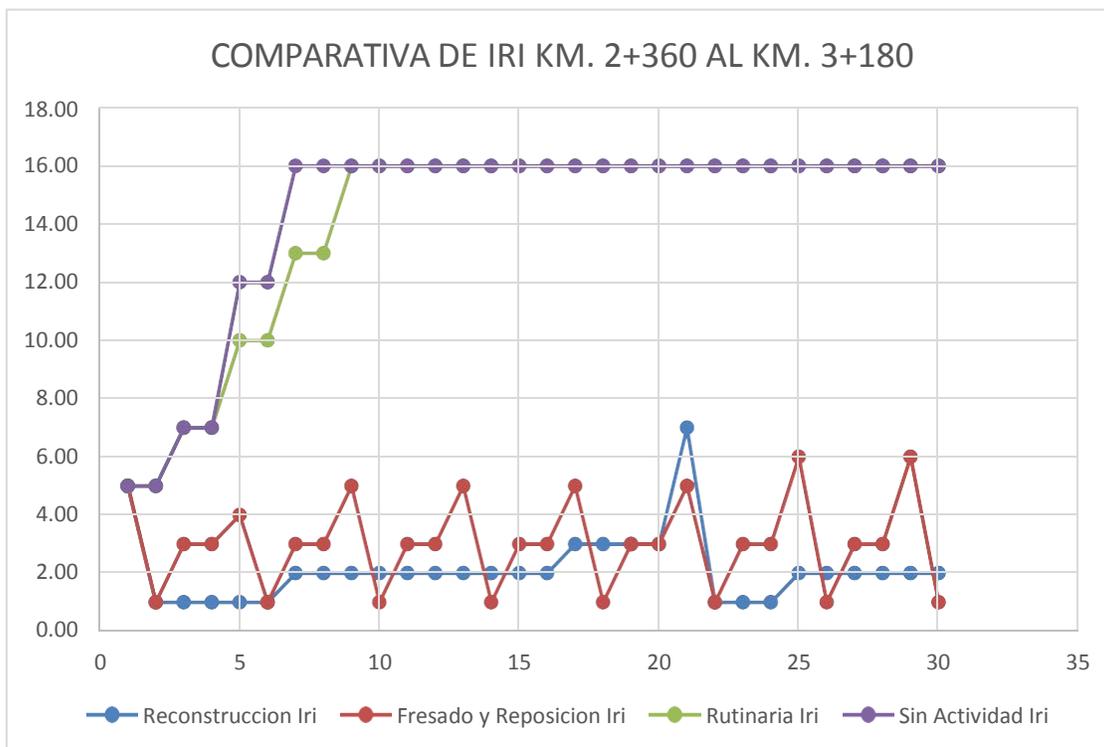


Figura 3.62: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 2+360 – 3+180.



En la figura 3.62 se muestra la comparativa de las actividades estudiadas en el presente proyecto, como se aprecia en esta figura la opción de reconstrucción con dos intervenciones a lo largo de 15 años logra mantener el IRI por debajo de 3 aproximadamente.

La opción de fresado y reposición logra mantener el IRI por debajo de 4 pero con picos trianuales comprendidos en un principio muy próximos a un valor de IRI de 5, sin embargo por la fatiga estructural este valor se incrementa a valores de IRI próximos a 6 después de 15 años de proyección y continuando a la alta con el paso de los años.

Las opciones de conservación rutinaria y sin actividad en los primeros tres años llegan a niveles de IRI del orden de 16.

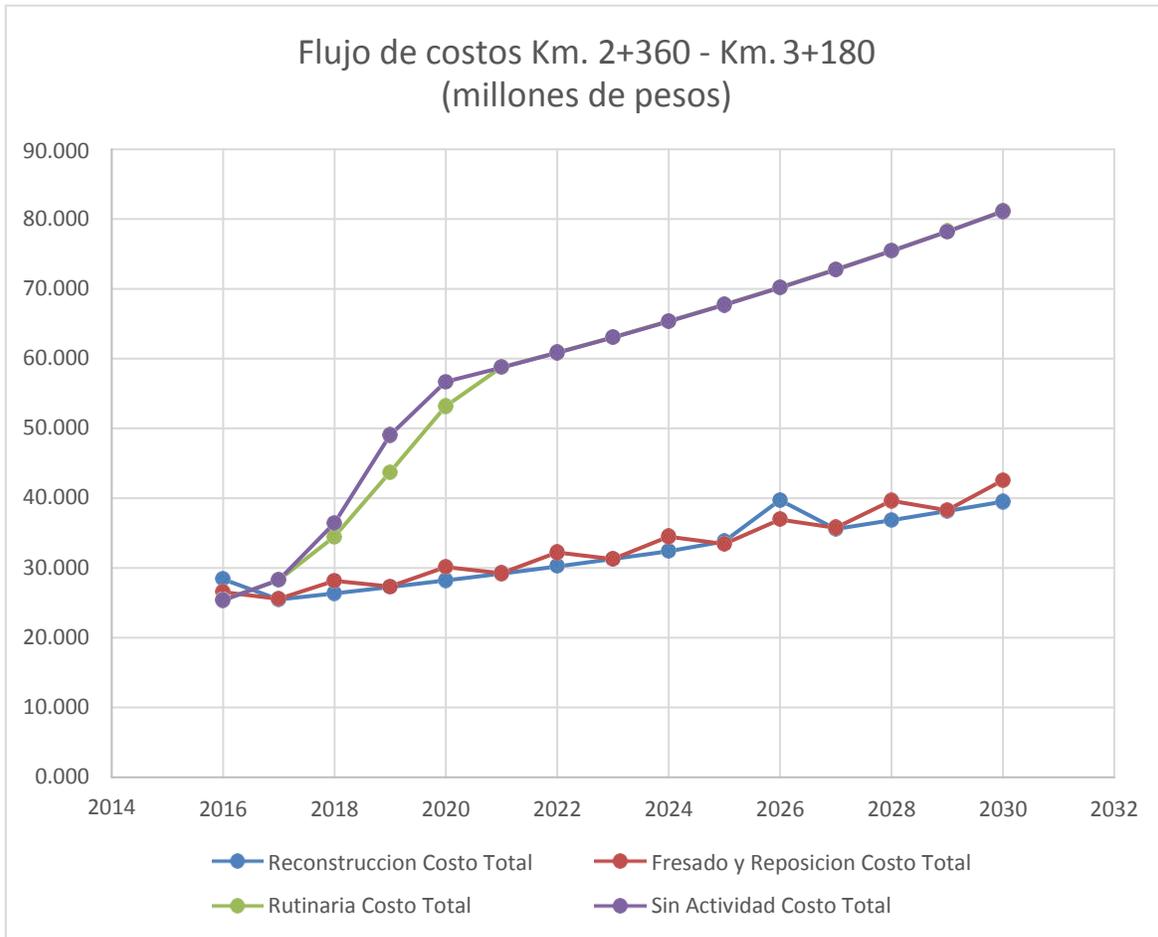


Figura 3.63: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Norte – Sur Km. 2+360 – 3+180.

En la figura 3.63 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto, considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares, llegando a ser superiores los correspondientes a fresado y reposición.

Se puede apreciar que el hecho de no invertir en la vialidad nos incrementa los costos en un aproximado de 50 millones de pesos en los primeros 5 años, llegando a ser para el año 2030 un aproximado de 500 millones de pesos.

3.3.9.10 TRAMO NORTE SUR KM 3+180 AL KM 4+900.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el tramo comprendido del Km 3+180 al Km 4+900 sentido Norte Sur (figuras 3.64 a 3.68).

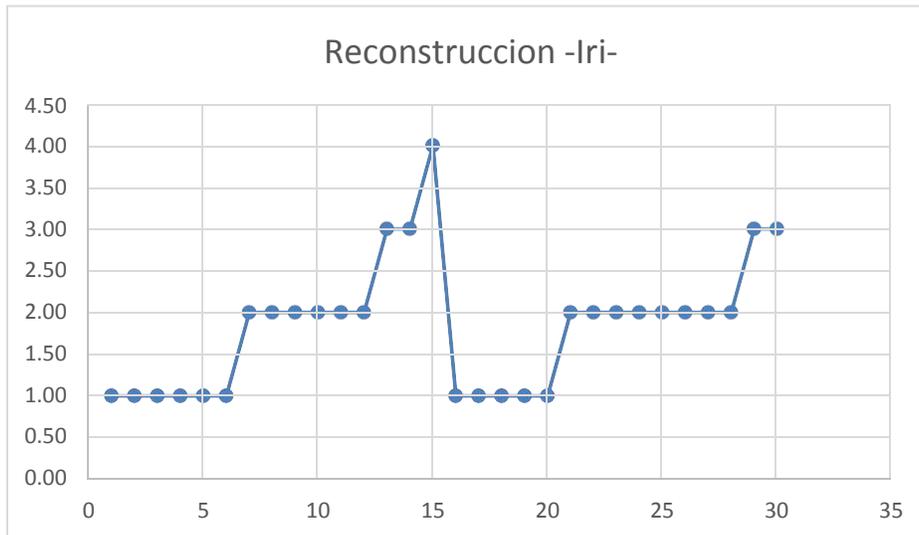


Figura 3.64: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 3+180 – 4+900.

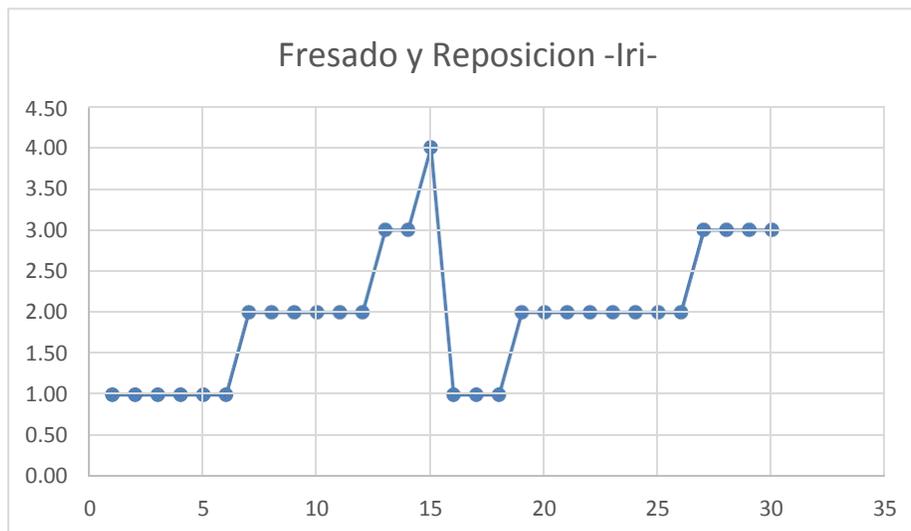


Figura 3.65: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Recuperación” Tramo Norte – Sur Km. 3+180 – 4+900.

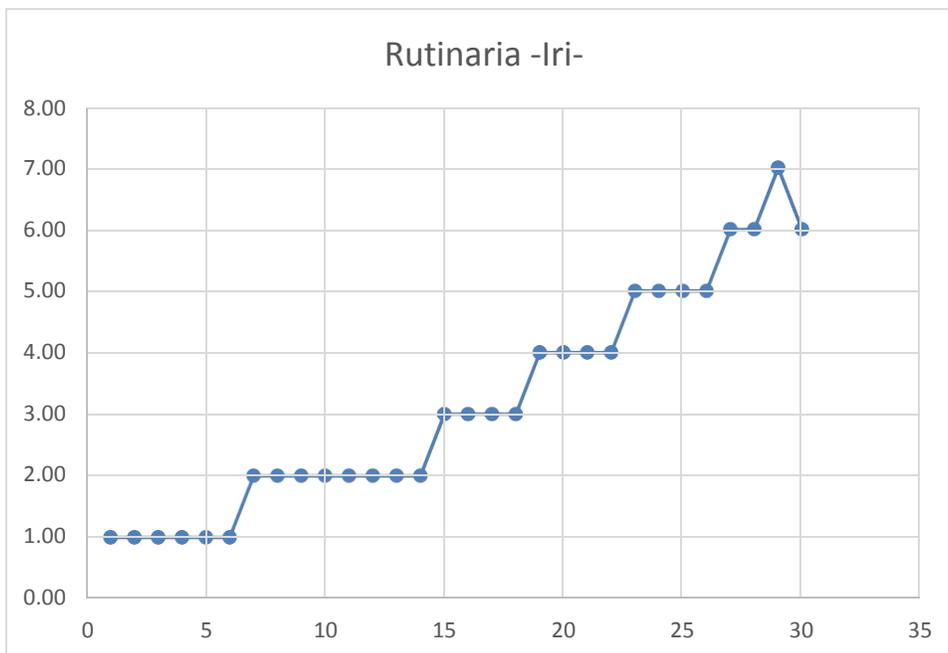


Figura 3.66: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 3+180 – 4+900.

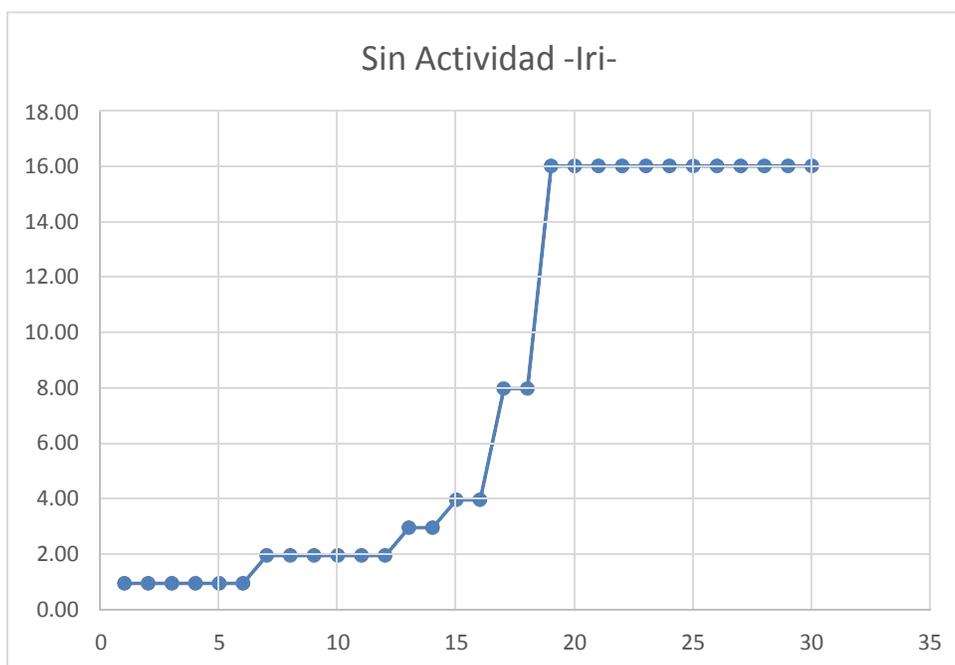


Figura 3.67: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 3+180 – 4+900.

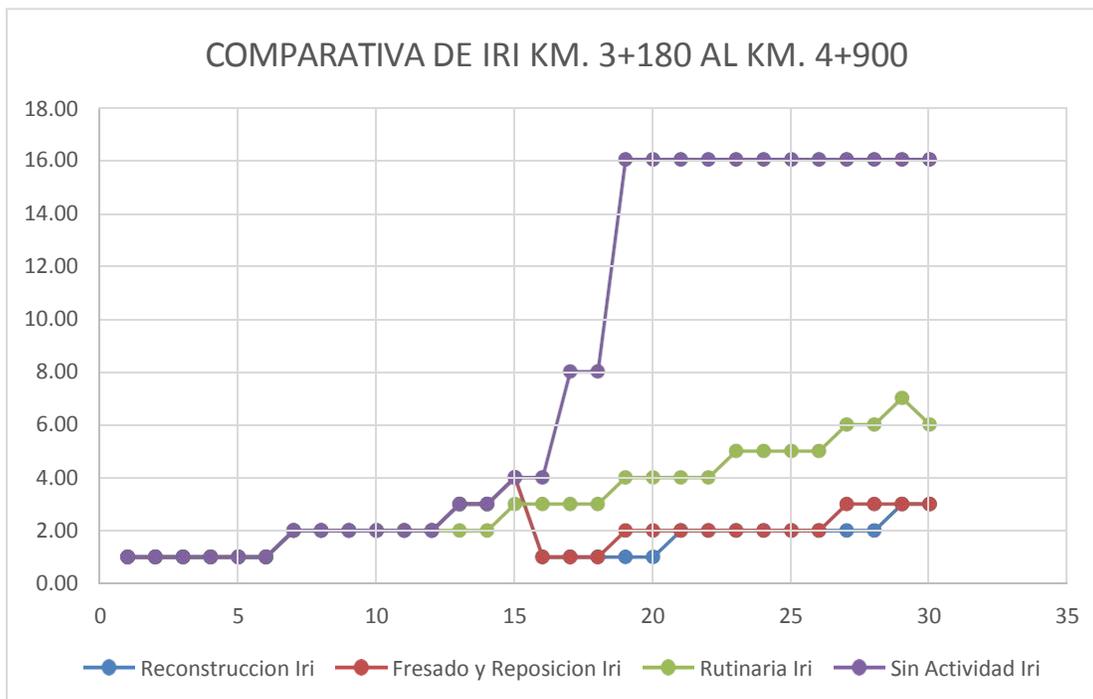


Figura 3.68: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 3+180 – 4+900.

En la figura 3.68 se muestra la comparativa de las actividades estudiadas en el presente proyecto, como se aprecia en esta figura este es el tramo con mejores características, la opción de reconstrucción es viable hasta el año 2024 y siempre se mantiene un IRI por debajo de 4.

De igual manera la opción de fresado y reposición logra mantener el IRI por debajo de 4 durante todo el periodo de estudio, terminando en un IRI de 3 hacia el año 2030, el cual coincide con la alternativa de reconstrucción.

La opción de conservación rutinaria mantiene la vialidad en un IRI máximo de 7, lo cual demuestra que es necesario realizar esta actividad en todo tipo de vialidades ya que se logran mantener la mayoría de las características físicas con poca inversión.

La alternativa sin actividad llega a niveles de IRI igual a 16 hacia el año 2025.

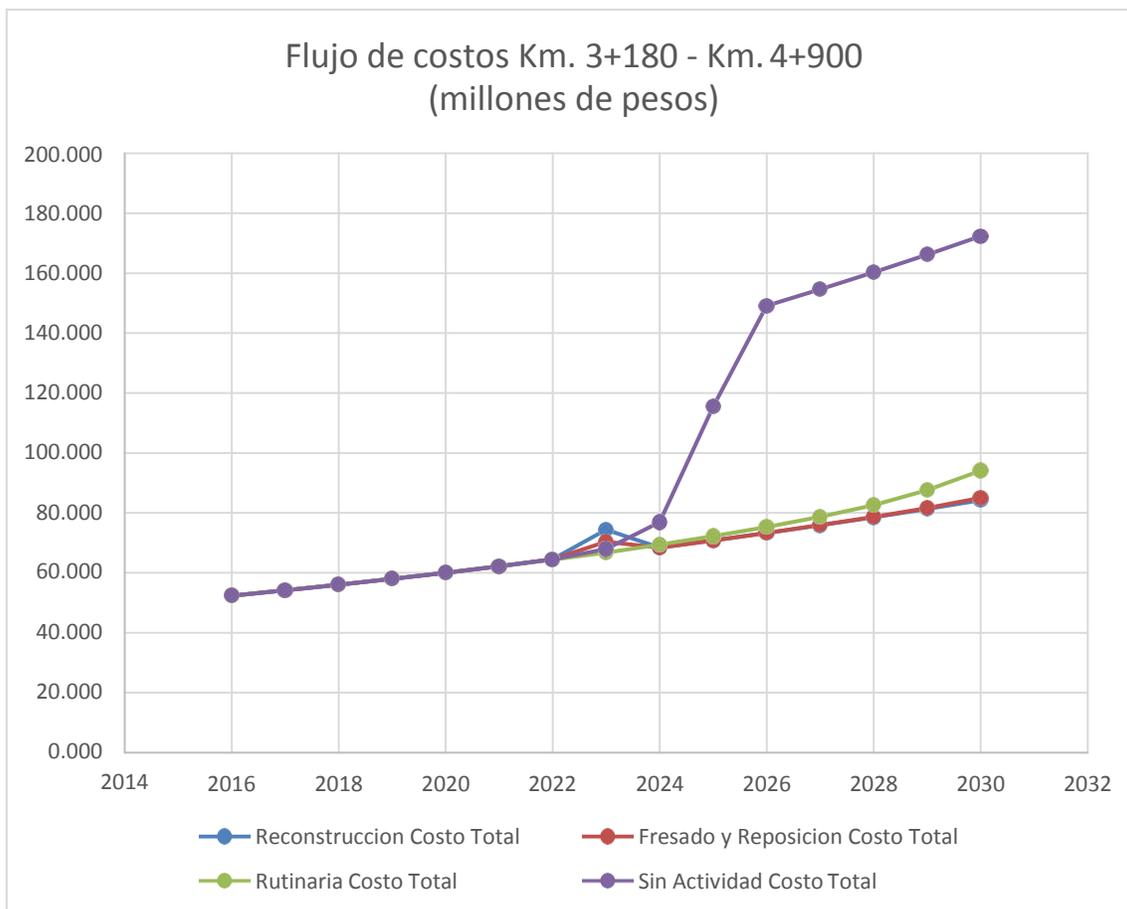


Figura 3.69: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Norte – Sur Km. 3+180 – 4+900.

En la figura 3.69 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto, considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares.

Se puede apreciar que el hecho de no invertir en la vialidad nos incrementa los costos en un aproximado de 500 millones de pesos al final del periodo de estudio, así mismo los costos por mantenimiento rutinario son muy parecidos a los de reconstrucción y fresado con reposición, sin embargo la diferencia radica en los índices de IRI del tramo en cuestión.

3.3.9.11 TRAMO NORTE SUR KM 4+940 AL KM 5+560.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el tramo comprendido del Km 4+940 al Km 5+560 sentido Norte Sur (figuras 3.70 a 3.74).

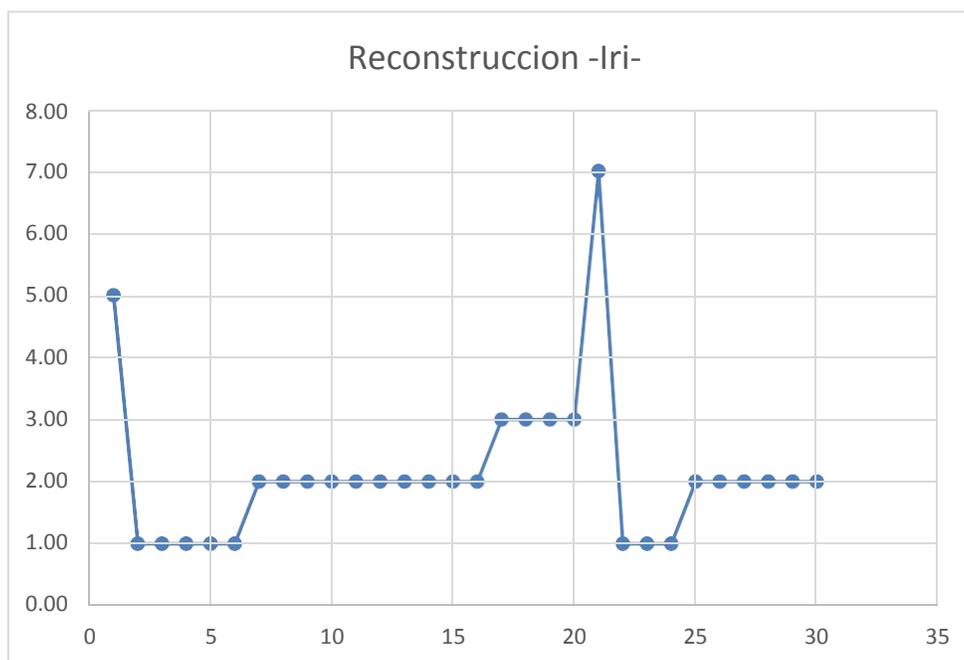


Figura 3.70: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 4+940 – 5+560.

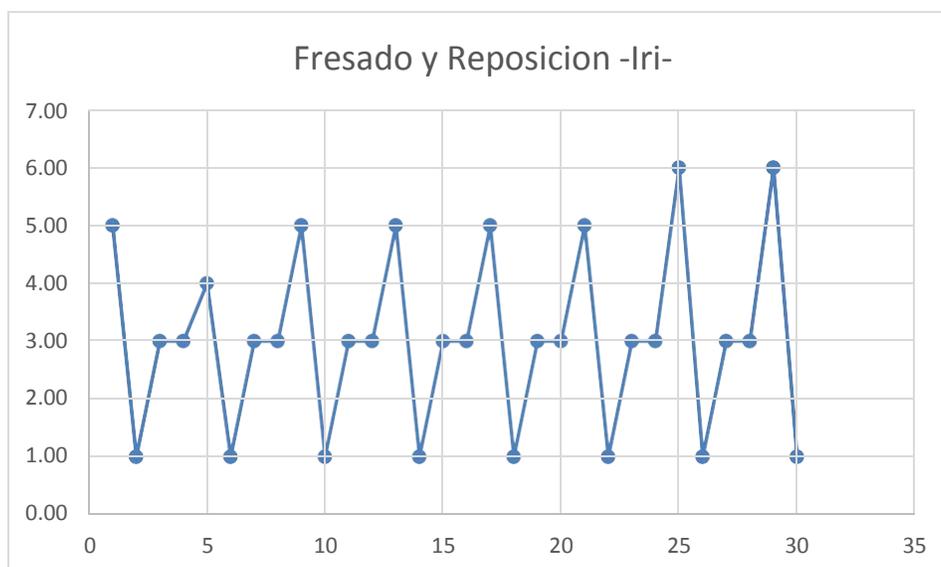


Figura 3.71: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Recuperación” Tramo Norte – Sur Km. 4+940 – 5+560.

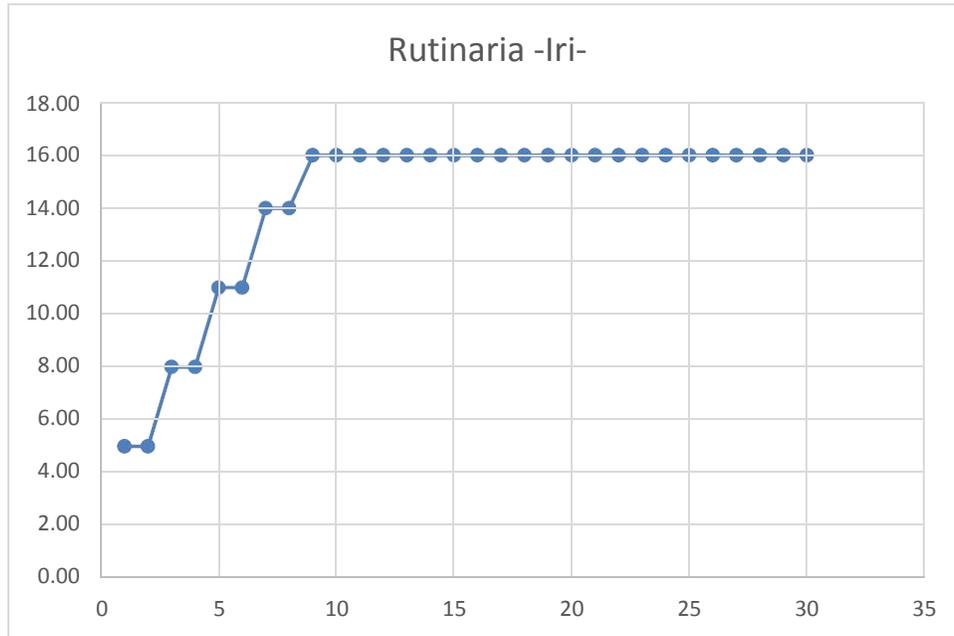


Figura 3.72: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 4+940 – 5+560.

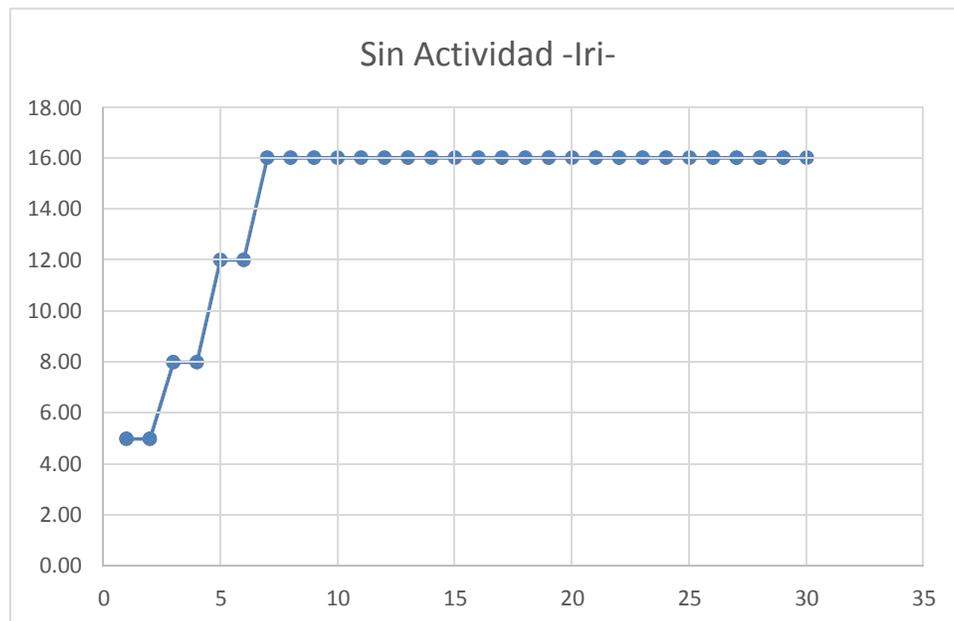


Figura 3.73: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 4+940 – 5+560.

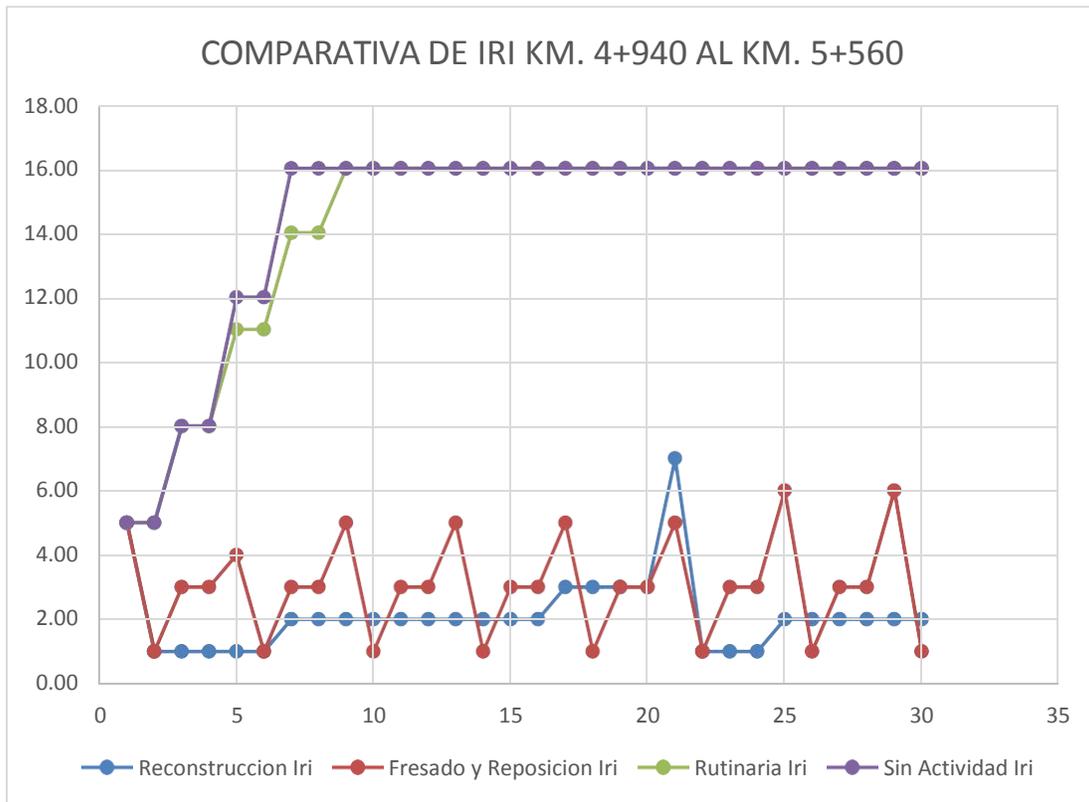


Figura 3.74: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 4+940 – 5+560.

En la figura 3.74 se muestra la comparativa de las actividades estudiadas en el presente proyecto, como se aprecia en esta figura la opción de reconstrucción con dos intervenciones a lo largo de 15 años logra mantener el IRI por debajo de 3 aproximadamente.

La opción de fresado y reposición logra igualmente mantener el IRI en 3 pero con picos trianuales comprendidos en un principio muy próximos a un valor de IRI de 4, sin embargo por la fatiga estructural este valor se incrementa a valores de IRI próximos a 6 después de 15 años de proyección y continuando a la alta con el paso de los años.

Las opciones de conservación rutinaria y sin actividad en los primeros tres años llegan a niveles de IRI del orden de 16.

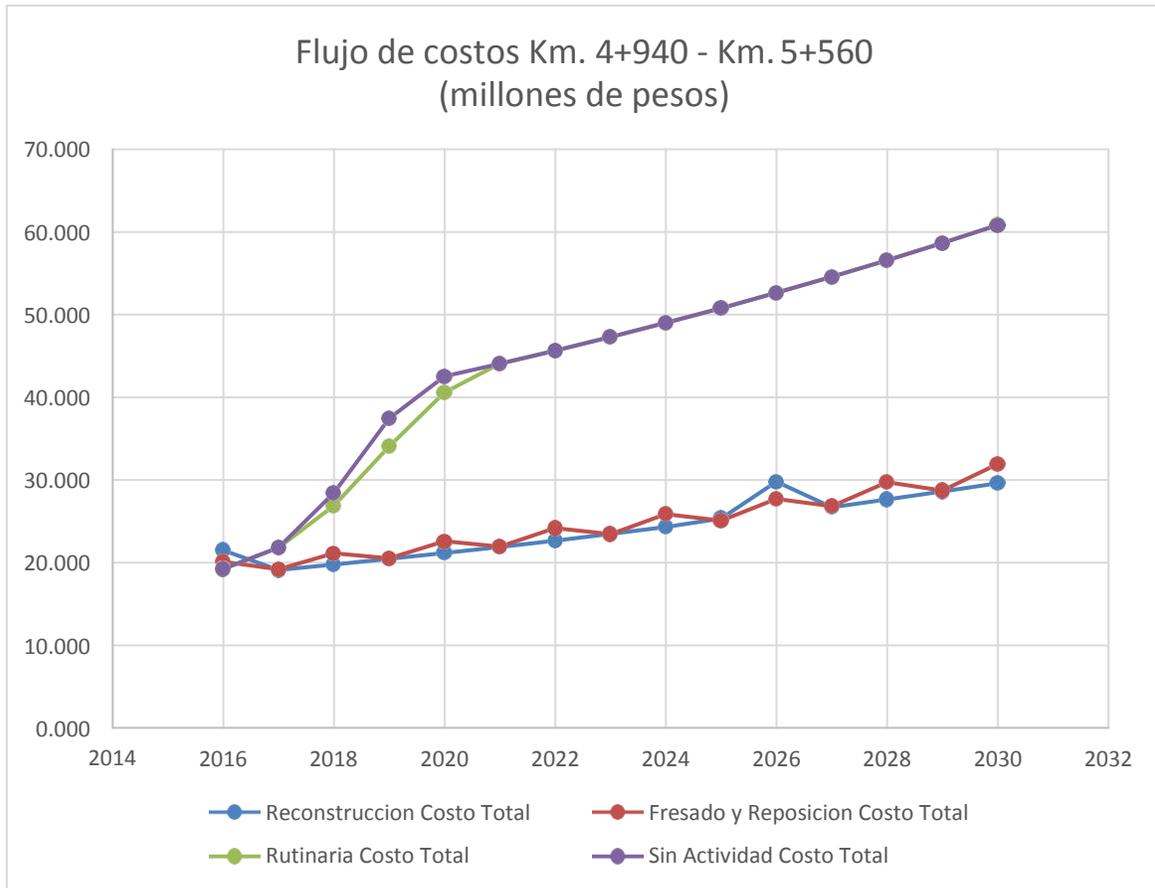


Figura 3.75: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Norte – Sur Km. 4+940 – 5+560.

En la figura 3.75 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto, considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares, llegando a ser superiores los correspondientes a fresado y reposición.

Se puede apreciar que el hecho de no invertir en la vialidad nos incrementa los costos en un aproximado de 50 millones de pesos en los primeros 5 años, llegando a ser para el año 2030 un aproximado de 500 millones de pesos.

3.3.9.12 TRAMO NORTE SUR KM 5+600 AL KM 7+170.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el tramo comprendido del Km 5+600 al Km 7+170 sentido Norte Sur (figuras 3.76 a 3.80).

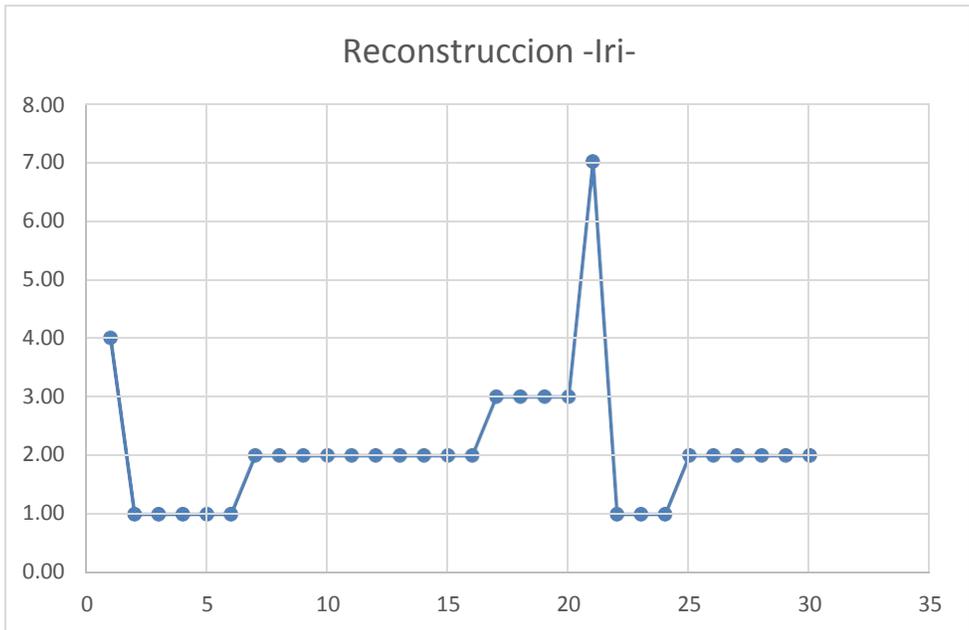


Figura 3.76: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Reconstrucción” Tramo Norte – Sur Km. 5+600 – 7+170.

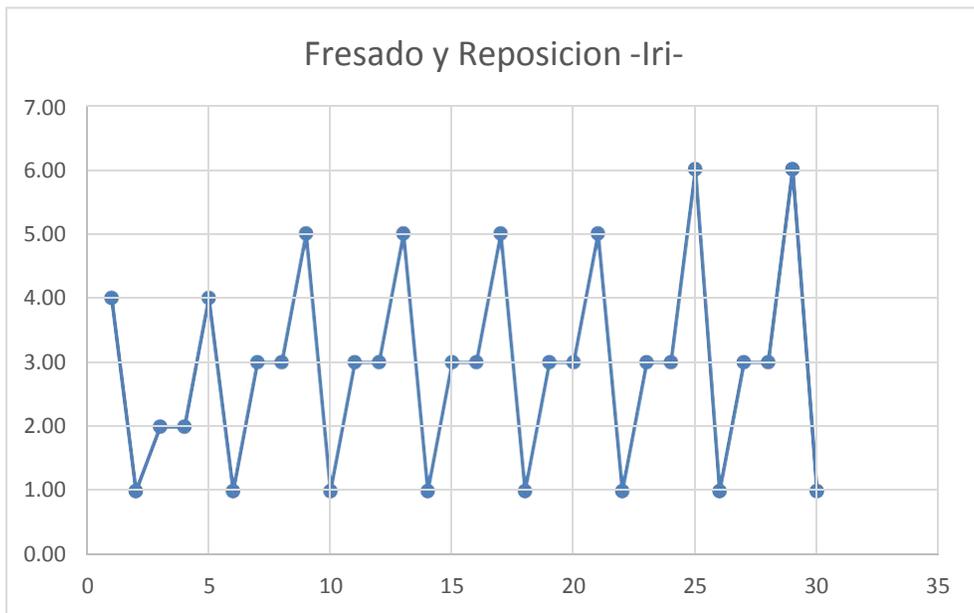


Figura 3.77 Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Fresado y Recuperación” Tramo Norte – Sur Km. 5+600 – 7+170.

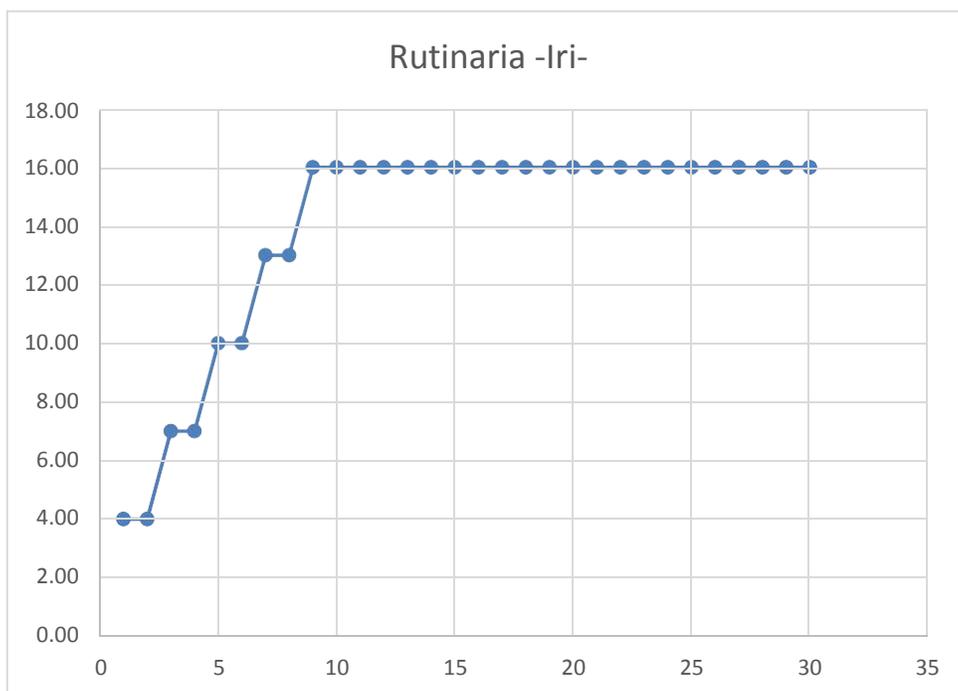


Figura 3.78: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Rutinaria” Tramo Norte – Sur Km. 5+600 – 7+170.

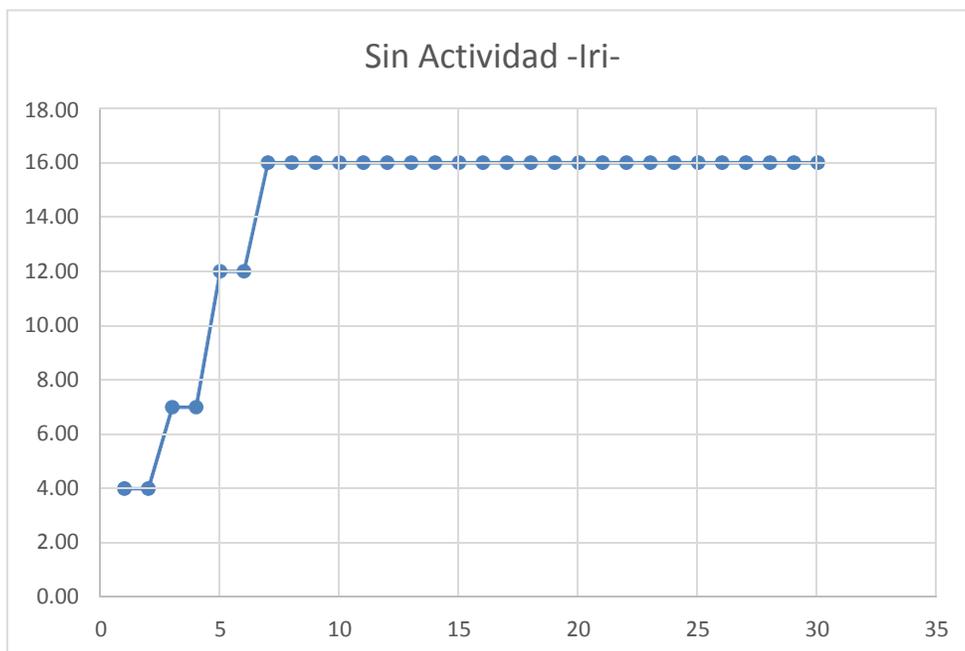


Figura 3.79: Valores de IRI en el tiempo con la alternativa “Sin Actividad” Tramo Norte – Sur Km. 5+600 – 7+170.

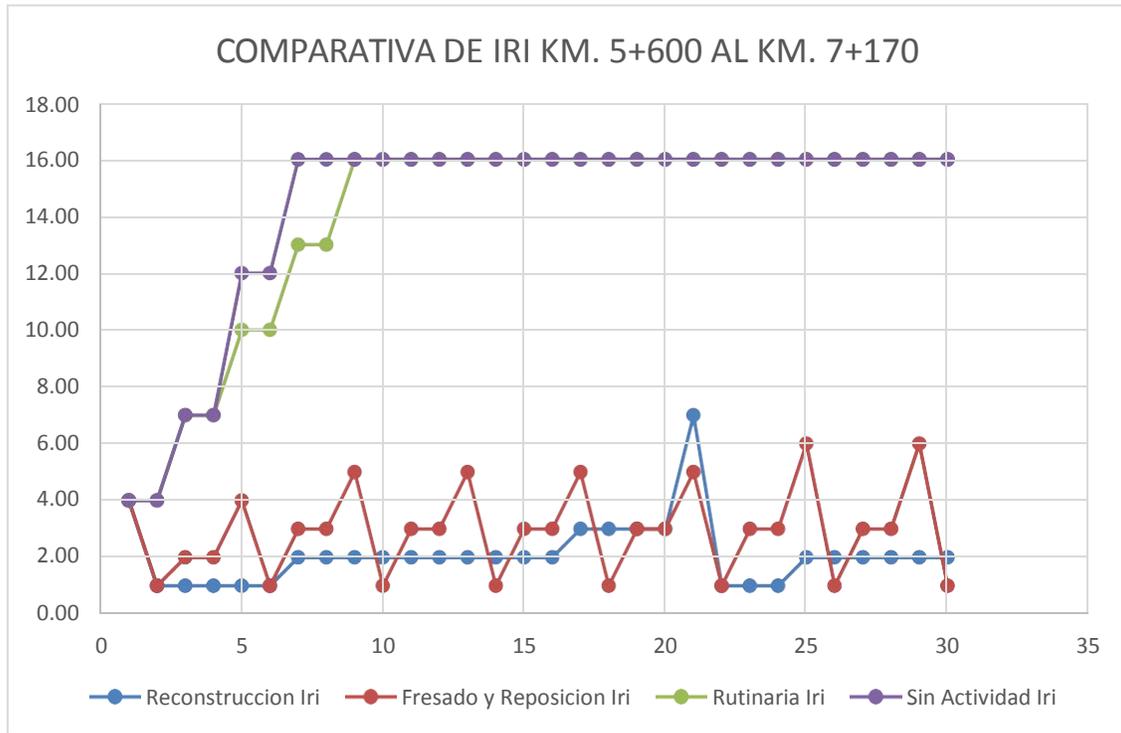


Figura 3.80: Comparativa de IRI de acuerdo a las diferentes alternativas Tramo Norte – Sur Km. 5+600 – 7+170.

En la figura 3.80 se muestra la comparativa de las actividades estudiadas en el presente proyecto, como se aprecia en esta figura la opción de reconstrucción con dos intervenciones a lo largo de 15 años logra mantener el IRI por debajo de 3 aproximadamente.

La opción de fresado y reposición logra mantener el IRI por debajo de 4 pero con picos trianuales comprendidos en un principio muy próximos a un valor de IRI de 5, sin embargo por la fatiga estructural este valor se incrementa a valores de IRI próximos a 6 después de 15 años de proyección y continuando a la alta con el paso de los años.

Las opciones de conservación rutinaria y sin actividad en los primeros tres años llegan a niveles de IRI del orden de 16.

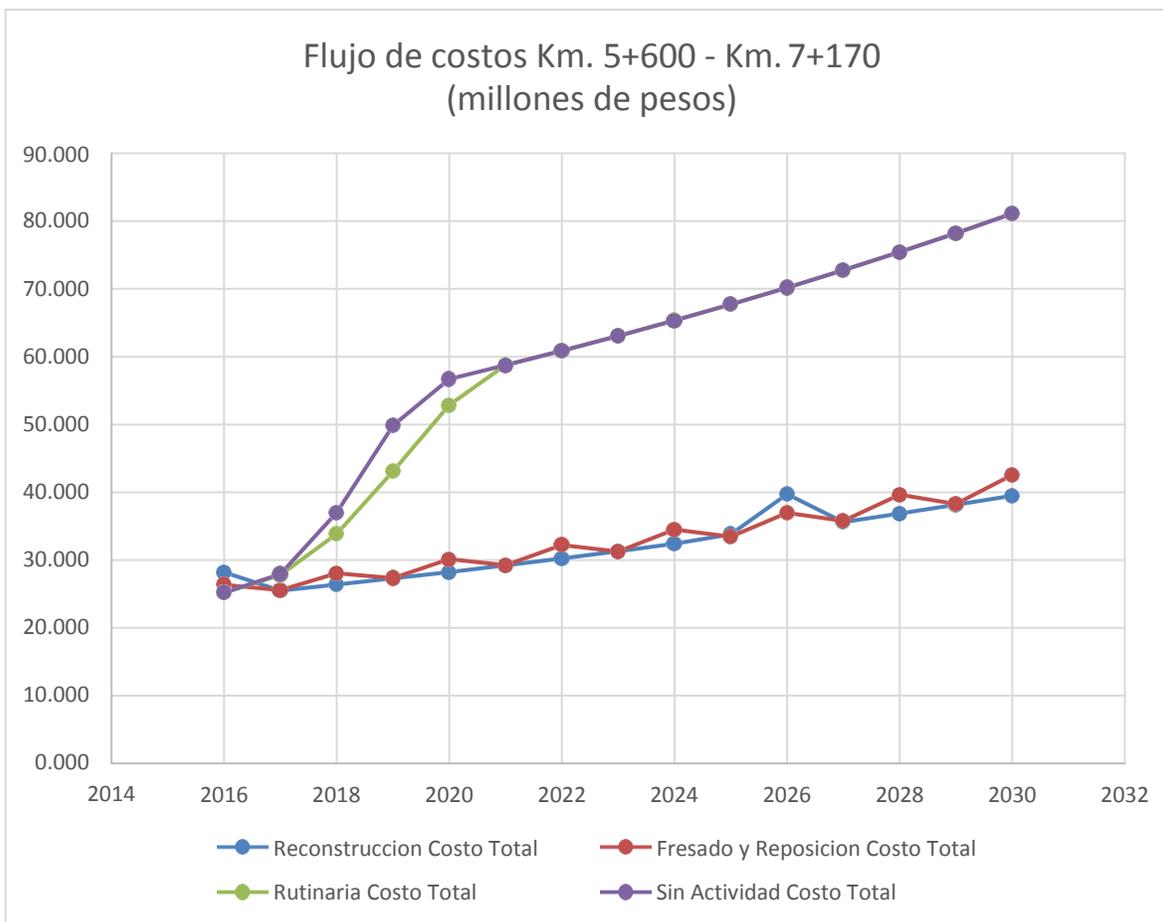


Figura 3.81: Flujo de costos de las diferentes alternativas para el Tramo Norte – Sur Km. 5+600 – 7+170.

En la figura 3.81 se aprecia el flujo de costos para las diferentes alternativas estudiadas en el proyecto, considerando costos de operación vehicular y tiempos de traslado. Es importante hacer notar que los costos totales de la alternativa base así como de la propuesta de fresado y reposición son muy similares, llegando a ser superiores los correspondientes a fresado y reposición.

Se puede apreciar que el hecho de no invertir en la vialidad nos incrementa los costos en un aproximado de 100 millones de pesos en los primeros 5 años, llegando a ser para el año 2030 un aproximado de 600 millones de pesos.

En las figuras 3.82 y 3.83 se presenta un concentrado de la información mostrada anteriormente, es importante mencionar que el hecho de no invertir en la vialidad (alternativa sin actividad) a largo plazo nos incrementa los costes de operación en un 100%, lo mismo que realizar actividades de conservación rutinaria en tramos donde la estructura ya se encuentra dañada, siendo posible realizar únicamente estas actividades en tramos con características iniciales optimas, sin embargo aunque los costes sean muy semejantes los valores de IRI se incrementan notablemente.

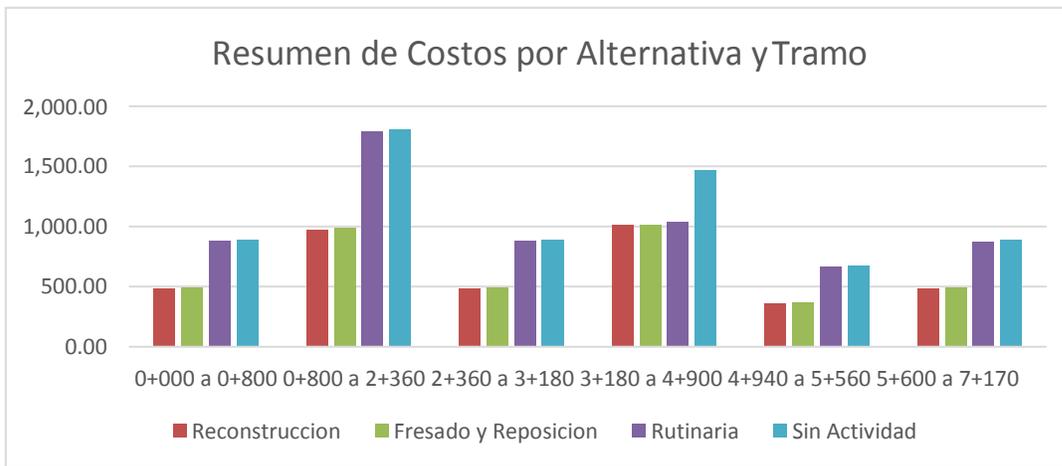


Figura 3.82: Resumen de costos por alternativa y tramo sentido Norte Sur.

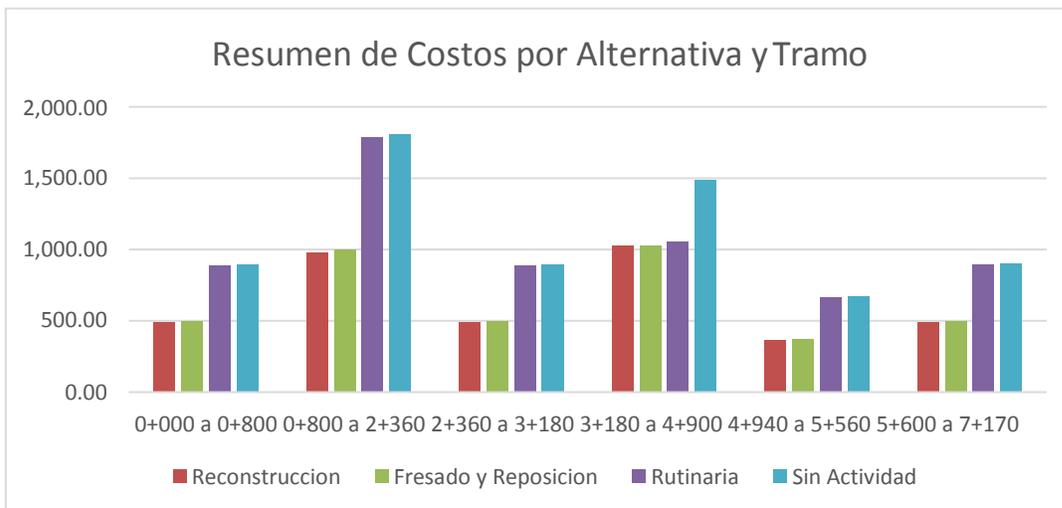


Figura 3.83: Resumen de costos por alternativa y tramo sentido Sur Norte.



Basado en los resultados proporcionados por el software es interesante ver como los costes de fresado y reposición a lo largo del tiempo son equivalentes a la intervención de reconstrucción la única diferencia radica en los montos de inversión inicial, siendo más económica la inversión inicial para el caso de fresado y reposición.

Las actividades seleccionadas para cada uno de los tramos en estudio se presentan en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Resumen de alternativas seleccionadas por tramo ambos sentidos.

Resumen de Alternativa por Tramo				
Tramo	Reconstrucción	Fresado y Reposición	Rutinaria	Sin Actividad
0+000 a 0+800	Recomendable	Recomendable si no se cuenta con la inversión inicial para reconstrucción	Realizar independientemente de la alternativa seleccionada (Aumenta vida útil entre intervenciones)	No recomendable
0+800 a 2+360	Recomendable	Recomendable si no se cuenta con la inversión inicial para reconstrucción	Realizar independientemente de la alternativa seleccionada (Aumenta vida útil entre intervenciones)	No recomendable
2+360 a 3+180	Recomendable	Recomendable si no se cuenta con la inversión inicial para reconstrucción	Realizar independientemente de la alternativa seleccionada (Aumenta vida útil entre intervenciones)	No recomendable
3+180 a 4+900	Recomendable	Recomendable si no se cuenta con la inversión inicial para reconstrucción	Realizar independientemente de la alternativa seleccionada (Aumenta vida útil entre intervenciones)	No recomendable
4+940 a 5+560	Altos costos iniciales.	Recomendable	Realizar independientemente de la alternativa seleccionada (Aumenta vida útil entre intervenciones)	No recomendable
5+600 a 7+170	Recomendable	Recomendable si no se cuenta con la inversión inicial para reconstrucción	Realizar independientemente de la alternativa seleccionada (Aumenta vida útil entre intervenciones)	No recomendable



Capítulo 4: Conclusiones

La aplicación del sistema de gestión de pavimentos HDM-4 permite seleccionar la mejor alternativa para resolver los problemas de conservación y mantenimiento de la infraestructura vial de la zona de estudio por medio del análisis de sus características físicas (IRI, deflexión, características geométricas).

Por lo general, los primeros indicadores que se revisan son los de aspectos económicos y los referentes al estado de conservación del tramo en estudio. En este proceso la experiencia del analista es indispensable, ya que aunque el programa es confiable pueden darse casos en los que la opción más prometedora sea inviable en la práctica.

Mediante el análisis se permite la optimización de los recursos ya que en base a los resultados se puede deducir que tramos requieren atención inmediata, priorizando su intervención.

El HDM-4 genera información relevante (comportamiento de la carretera y flujo de costos – beneficios principalmente) que debe ser analizada y cotejada con la experiencia ya que los modelos de simulación son solo una parte del proceso de gestión de carreteras.

Para nuestra zona de estudio (en todos sus tramos) los resultados del software HDM-4 muestran que la conservación rutinaria es de vital importancia para mantener y alargar su vida útil, proporcionando así un mayor intervalo de tiempo entre intervenciones.

Por otro lado, la opción de fresado y reposición es recomendable cuando no se cuenta con el capital necesario para la inversión inicial que implicaría reconstruir el tramo en estudio, esto nos permite alargar el periodo de tiempo para una intervención mayor.



Finalmente, el hecho de no realizar ningún trabajo de conservación rutinaria o conservación periódica (fresado y reposición) provoca el aumento de los valores de IRI de una manera acelerada, lo cual, incrementa directamente los costes de operación del tramo en estudio resultando en una inversión mayor en el mismo periodo de tiempo.



Referencias

- Thenoux, G., Halles, F., Barrera, E., & Miranda, J. C. (2002). Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas de Chile.
- These, H. L., de Beer, M., & Rust, F. C. (1996). Overview of the South African Mechanistic pavement Design Analysis Method. TRB, January.
- Huang, Y. H. (1993). Pavement analysis and design.
- Maya, J. (2003). Sistemas de Información para la ayuda en la Toma de Decisiones (DSS). Universidad EAFIT.
- Chukwunonso, F. (2009). A Brief History of Decision Support Systems.
- Restrepo, S. (2004). Trayectoria de los Sistemas de Apoyo/Soporte a las Decisiones (DSS o Decision Support Systems). Universidad EAFIT.
- Hernán de Solminihaç, T. (2001). Gestión de infraestructura vial. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Orozco Y Orozco, J. M., Tellez Gutierrez, R., Solorio Murillo, R., Perez Salazar, A., Sanchez Loo, M. A., & Torras Ortiz, S. (2004). Sistema de Evaluación de Pavimentos: Version 2.0. Publicación Técnica, (245).
- Solorio Murillo, R., Hernandez Dominguez, R. I., & Gomez Lopez, J. A. (2004). Analisis de Sensibilidad de los Modelos de Deterioro del HDM-4 para Pavimentos Asfálticos. Publicación Técnica, (253).
- Kerali, H. G. Visión General de HDM-4.4
- Kerali, H. G. R. (2000). The highway development and management series Vol. 1: Overview of HDM-4. World Road Association,(PIARC), Paris, France.
- Kerali, H. G. R. (2000). The highway development and management series Vol. 2: Applications Guide. World Road Association,(PIARC), Paris, France.
- Kerali, H. G. R. (2000). The highway development and management series Vol. 3: Software User Guide. World Road Association,(PIARC), Paris, France.



- Odoki, J. B., & Kerali, H. G. R. (2000). Highway development and management series: Volume four-Analytical framework and model descriptions. The World Road Association (PIARC), La Defense, France.
- Bennett, C. R., & Paterson, W. D. O. The Highway Development and Management Series Volume Five: A Guide to Calibration and Adaptation. The World Road Association (PIARC), Paris and The World Bank, Washington, DC.
- Posada Henao, J. J. (1999). Conceptos sobre el Modelo HDM-III. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín-Facultad de Minas.
- Posada Henao, J. J. (2003). HDM-4 Guía básica para su uso.
- de Carreteras, A. T. (2001). Curso sobre Programación y Evaluación de Inversiones en Redes de Carreteras con el Modelo HDM-4 (Memorias). Asociación Técnica de Carreteras de España, Banco Mundial, Asociación Mundial de Carreteras.
- Pradena, M., Rivera, J., & Echaveguren, T. (2010). Metodología para la Evaluación de Proyectos de Mantenimiento de Caminos, Utilizando el Software HDM-4. Iberoamerican Journal of Project Management, 1(2).



Curriculum Vitae

Ingeniero Civil por el Instituto Tecnológico de Pachuca, miembro del Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Hidalgo, Director Responsable en planeación y proyecto en Diseño de Infraestructura y Comunicaciones, Director Responsable de Obra en Edificaciones, En Construcción de Infraestructura y Comunicaciones, Corresponsable en Seguridad Estructural, Evaluador de Daños y Evaluador de Obra por parte del INIFE.

Profesionalmente he participado en la construcción de la Autopista Tepic-Mazatlán, Libramiento Arco Norte de la Ciudad de México, Circuito Exterior Mexiquense Etapa III, Planta Termoeléctrica Humeros II, Metro Línea 12 de la Ciudad de México, Autopista Toluca-Ixtapan de la Sal entre otras. Actualmente desempeñándome como director de carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Politécnica Francisco I. Madero.

Domicilio Permanente: Calle Cronos #115, Colonia PRI-Chacón
Pachuca, Hidalgo, 42186

Esta tesis/disertación fue mecanografiada por Marco Aurelio Nava Licona.