



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-01-11

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA: TRAMOS HOMOGÉNEOS

INFORME PARCIAL

Preparado por:
Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica
Marzo, 2011

Información técnica del documento

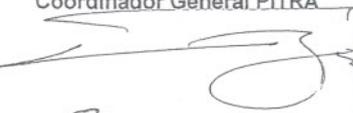
1. Informe LM-PI-UM-01-11		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA: TRAMOS HOMOGÉNEOS		4. Fecha del Informe: Marzo, 2011
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <i>Como parte del estudio realizado en las principales rutas de la red vial cantonal de Moravia se realizó la identificación y caracterización de tramos homogéneos, esto con el objetivo de buscar y aplicar soluciones a secciones de la carretera que presenten condiciones similares de deterioro. En total se obtuvo 47 tramos homogéneos en un trayecto de aproximadamente 30 km con extensiones que van desde los 300 m hasta los 1400 m. Estos tramos fueron posteriormente analizados por diferentes parámetros basados en deflectometría e IRI (Índice de Regularidad Internacional). El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo indicó, que un 48,9% de los tramos (15,2 km) presentan una condición de daños severos, por otro lado 3,8 km presentan una buena condición estructural. En cuanto a los valores promedio el IRI se determinó que el total de los tramos evaluados presentan un IRI superior a 3,6 m/km, además un 59,6% de los tramos (16,8 km) presentan irregularidad severa (IRI mayor a 10 m/km). Uno de los productos más importantes que se incluye en el análisis es la propuesta del tipo de intervención general (mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción) basados en el estado actual de cada uno de los tramos homogéneos. La información contenida en este informe es una herramienta útil para una eficiente y eficaz gestión de los recursos que dispone el municipio para el mantenimiento y la mejora de la red vial que administra. Ya que permite generar planes de inversión a corto plazo y tipos de intervenciones fundamentados en criterios técnicos.</i>		
10. Palabras clave Evaluación de carreteras, Gestión, Red vial cantonal, Moravia, Tramos homogéneos	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 60
13. Preparado por: Ing. Sharline López Ramírez Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 31 / 03 / 11		
Colaboradores: Cristian Fernández Moreira Elicer Arias Barrantes Diego Quesada Girón Ignacio Matamoros Elizondo		
14. Revisado por: Ing. Jaime Allen Monge, MSc Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 31 / 3 / 11	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, MSc Coordinador General PITRA  31 Fecha: 31 / 03 / 11	

TABLA DE CONTENIDO

1. PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL.....	8
1.1 IMPORTANCIA	8
1.2 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP)	9
1.3 PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL.....	11
1.4 ESQUEMA METODOLÓGICO	13
2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS	13
2.1 DEFLEXIÓN E IRI PROMEDIO DE LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS	17
<u>2.1.1 DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO.....</u>	<u>18</u>
<u>2.1.2 IRI PROMEDIO</u>	<u>23</u>
2.2 DEFLEXIÓN E IRI CARACTERÍSTICOS	25
<u>2.2.1 DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA</u>	<u>26</u>
<u>2.2.2 IRI CARACTERÍSTICO</u>	<u>29</u>
2.3 INDICADORES DE CONDICIÓN	31
<u>2.3.1 ÍNDICE DE CONDICIÓN ESTRUCTURAL: SAI</u>	<u>31</u>
<u>2.3.2 ÍNDICE DE CONDICIÓN FUNCIONAL: PRI</u>	<u>37</u>
<u>2.3.3 ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO: PCI</u>	<u>42</u>
3. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS	51
3.1 CURVAS DE DETERIORO.....	51
3.2 VENTANAS DE OPERACIÓN	53
3.3 DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS	56
3.4 ESCENARIOS DE INVERSIÓN	57
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
4.1 CONCLUSIONES	58
4.2 RECOMENDACIONES	59
5. REFERENCIAS	60



INDICE DE TABLAS

TABLA 1. TRAMOS HOMOGÉNEOS DE LA RVC DE MORAVIA, LONGITUD Y UBICACIÓN.....	14
TABLA 2. VALORES DE IRI PARA MOSTRAR EL EFECTO DE LA DISPERSIÓN SOBRE EL PROMEDIO DE UN CONJUNTO DE DATOS.	18
TABLA 3. VOLUMEN VEHICULAR APROXIMADO O SUPUESTO PARA LAS DIFERENTES VÍAS EN ESTUDIO.....	20
TABLA 4. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE FWD PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA EVALUADA.....	22
TABLA 5. CANTIDAD TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE IRI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA EVALUADA.....	25
TABLA 6. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE FWD CARACTERÍSTICO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA EVALUADA.....	28
TABLA 7. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE IRI CARACTERÍSTICO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA EVALUADA.....	30
TABLA 8. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE SAI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA EVALUADA.....	34
TABLA 9. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE SAI CARACTERÍSTICO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA EVALUADA.....	36
TABLA 10. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE PRI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA EVALUADA.....	39
TABLA 11. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE PRI CARACTERÍSTICO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA EVALUADA.....	41



TABLA 12. CATEGORIZACIÓN DE LA VÍA SEGÚN VALOR DE PCI	42
TABLA 13. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE PCI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA EVALUADA.....	45
TABLA 14. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE PCI CARACTERÍSTICO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MORAVIA EVALUADA.....	48
TABLA 15. RESUMEN DE LOS DATOS ASOCIADOS A CADA TRAMO HOMOGÉNEO (TH) EN ESTUDIO.....	49
TABLA 16. ECUACIONES DE LA EDAD DE PAVIMENTO PARA CAMINOS DE BAJO TRÁNSITO.....	52

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS (FUENTE: HAAS, 1993).....	10
FIGURA 2. ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL (FUENTE: LANAMMEUCR, 2008).....	12
FIGURA 3. ESQUEMA METODOLÓGICO (FUENTE: LÓPEZ, 2009).....	13
FIGURA 4. TRAMOS HOMOGÉNEOS DE LA RVC DE SAN VICENTE DE SAN JERÓNIMO	16
FIGURA 5. TRAMOS HOMOGÉNEOS DE LA RVC DE VICENTE DE MORAVIA.....	16
FIGURA 6. TRAMOS HOMOGÉNEOS DE LA RVC DE LA TRINIDAD DE MORAVIA.	17
FIGURA 9. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS DE SAN JERÓNIMO.....	22
FIGURA 10. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD PROMEDIO.....	23
FIGURA 11. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO.	23
FIGURA 12. IRI PROMEDIO DE LOS DIFERENTES TRAMOS ANALIZADOS DEL CANTÓN DE MORAVIA.	24
FIGURA 13. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.	25



FIGURA 14. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.....	25
FIGURA 15. DEFLECTOMETRÍA CARACTERÍSTICA DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS DE MORAVIA ANALIZADOS.....	27
FIGURA 16. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD CARACTERÍSTICO.....	28
FIGURA 17. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN FWD CARACTERÍSTICO.....	28
FIGURA 18. CLASIFICACIÓN DE IRI CARACTERÍSTICO PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO.....	29
FIGURA 19. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI CARACTERÍSTICO.....	30
FIGURA 20. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN IRI CARACTERÍSTICO.....	30
FIGURA 21. SAI PROMEDIO PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO EN ESTUDIO.....	33
FIGURA 22. GRÁFICO DE CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE SAI PROMEDIO.....	34
FIGURA 23. GRÁFICO DE DE METROS ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE SAI PROMEDIO.....	34
FIGURA 24. SAI CARACTERÍSTICO PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO EN ESTUDIO.....	35
FIGURA 25. GRÁFICO DE CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE SAI CARACTERÍSTICO.....	36
FIGURA 26. GRÁFICO DE DE METROS ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE SAI CARACTERÍSTICO.....	36
FIGURA 27. PRI PROMEDIO PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO EN ESTUDIO.....	38
FIGURA 28. GRÁFICO DE CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PRI PROMEDIO.....	39
FIGURA 29. GRÁFICO DE CANTIDAD DE METROS ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PRI PROMEDIO.....	39
FIGURA 30. PRI CARACTERÍSTICO PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO EN ESTUDIO.....	40
FIGURA 31. GRÁFICO DE CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PRI CARACTERÍSTICO.....	41



FIGURA 32. GRÁFICO DE CANTIDAD DE METROS ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PRI CARACTERÍSTICO.	41
FIGURA 33. RANGO DE PCI PROMEDIO PARA LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS	43
FIGURA 34. CATEGORÍAS DE CONDICIÓN PARA EL PCI PROMEDIO PARA CADA TH	44
FIGURA 35. CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PCI PROMEDIO.....	45
FIGURA 36. CANTIDAD DE METROS LINEALES ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PCI PROMEDIO	45
FIGURA 37. RANGO DE PCI CARACTERÍSTICO PARA LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS .	46
FIGURA 38. CATEGORÍAS DE CONDICIÓN PARA EL PCI CARACTERÍSTICO PARA CADA TH.....	47
FIGURA 39. CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PCI CARACTERÍSTICO.	48
FIGURA 40. CANTIDAD DE METROS LINEALES ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PCI CARACTERÍSTICO.....	48
FIGURA 41. VENTANAS DE OPERACIÓN (FUENTE: NBDOT, 2005).....	53
FIGURA 42. CANTIDAD DE KILÓMETROS ASOCIADOS A LOS DIFERENTES TIPOS DE INTERVENCIONES.....	54
FIGURA 43. TIPO DE INTERVENCIÓN NECESARIA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO SEGÚN LA CONDICIÓN ACTUAL.....	55



1. PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL

1.1 Importancia

El transporte por carretera es el principal medio de movilización con el que cuenta nuestro país, tanto para personas como para bienes. La red vial cantonal (RVC) es un elemento fundamental económico regional, ya que al estar conectada a la red vial nacional proporciona un mayor dinamismo para el desarrollo en la economía nacional y local, esto al mejorar las condiciones para que se dé el intercambio de bienes y servicios y facilitar el transporte para que se desarrollen actividades educativas, productivas, turísticas y recreativas en las regiones.

La infraestructura vial está conformada por todos aquellos elementos que facilitan el desplazamiento de los vehículos de un punto a otro de una manera segura y confortable. Entre los elementos que la conforman se encuentran los pavimentos, puentes, la señalización vertical y horizontal, taludes, terraplenes, túneles, dispositivos de seguridad tales como barreras de contención, drenajes, espaldón, entre otros. Todos estos elementos conforman la red vial, la cual debe ser capaz de permitir un servicio de transporte con un nivel adecuado, eficiente y eficaz para sus usuarios.

Un sistema de administración de infraestructura vial contempla la administración adecuada de los recursos económicos y humanos disponibles, de manera que estos sean optimizados para conservar y rehabilitar cada uno de sus componentes, procurando que funcionen como un conjunto armónico en función del usuario, lo cual propicia el desarrollo económico y social de la región en la que se encuentra.

La conservación de las vías se enfoca en dos objetivos fundamentales. El primero de ellos se relaciona con el servicio que se le brinda a los usuarios de la red, brindando una circulación confortable, segura y fluida, disminuyendo con esto los costos de transporte, así como los tiempos de viaje. Por otro lado la conservación y mejoramiento del patrimonio vial que forma parte de los activos públicos del Estado.



La importancia del tema se enfoca en maximizar los beneficios obtenidos al invertir en la red cantonal de la Municipalidad de Moravia, proporcionando políticas de inversión para la rehabilitación y el mantenimiento de sus rutas basándose en fundamentos técnicos, de manera que se dé una recuperación sostenible a mediano plazo.

Es labor de las municipalidades velar por el buen estado de su red cantonal. El municipio financia las obras de rehabilitación y mantenimiento de la red a través del Fondo Vial, el que está establecido en la Ley de Simplificación y Eficiencias Tributarias (Ley N° 8114).

1.2 Sistema de administración de pavimentos (SAP)

Parte fundamental de un sistema de administración de infraestructura son los pavimentos, pues es sobre su capa de rodadura donde diversos medios de transporte se desplazan. A los pavimentos se les asocia la mayor parte de los costos de usuario y es uno de los elementos de la infraestructura que más recursos económicos y financieros demandan para su construcción, así como para su mantenimiento o rehabilitación. De manera general, los pavimentos y carreteras deben ofrecer comodidad de viaje a los vehículos, economía en su operación y seguridad ante accidentes, para lo cual la municipalidad debe establecer planes y desarrollar proyectos de conservación y mejoramiento de sus vías de forma preventiva y garantizando un nivel de servicio adecuado de forma continua.

Cabe destacar que a través de la aplicación del SAP se disminuye la incertidumbre de la inversión, ya que las decisiones se basan en estudios técnicos que permiten guiar de una mejor manera las inversiones, con el fin de dar un mejor aprovechamiento y rentabilidad de los recursos disponibles.

Un sistema de gestión de pavimentos presenta una estructura general que se compone por cinco etapas bien definidas: planificación, diseño, construcción, mantenimiento y evaluación, las cuales son descritas en la Figura 1.

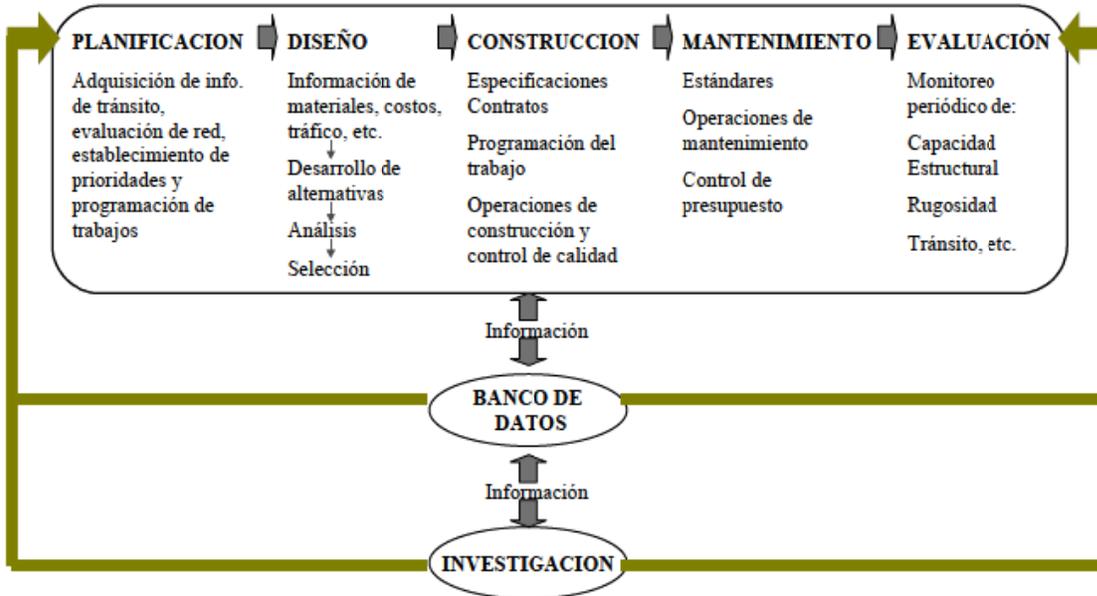


Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos (Fuente: Haas, 1993).

La gestión de pavimentos debe ser capaz de ser utilizada por el organismo a cargo de la conservación de caminos y contribuir a la toma de decisiones respecto de los proyectos individuales.

Por otra parte, la utilización de un adecuado sistema de gestión sobre los caminos permitirá obtener el óptimo rendimiento de los recursos invertidos, valorando para tal efecto los diversos costos involucrados. Para aplicar de manera eficaz un sistema de gestión es necesario que el mismo cuente con ciertos requerimientos esenciales:

- Capacidad de ser fácilmente utilizado, posibilitando agregar y actualizar datos y modificarlo con nueva información de manera sencilla.
- Capacidad de considerar estrategias alternativas dentro de la evaluación.
- Capacidad de identificar la estrategia o alternativa óptima.
- Capacidad de basar sus decisiones en procedimientos racionales, con atributos, criterios y restricciones cuantificables.
- Capacidad de utilizar la información para la retroalimentación del sistema y llevar un control del cambio en las condiciones de la red.



Los pavimentos son estructuras complejas que se ven afectadas por diferentes variables: frecuencia (cantidad de vehículos que circulan en un periodo de tiempo determinado) y peso de vehículos que soportan, solicitaciones de medio ambiente, materiales usados y formas de construcción, mantenimiento, etc. Es importante entender claramente los factores técnicos y económicos que involucran su construcción, explotación y mantención con el fin de poder hacer una apropiada gestión de pavimentos.

El crecimiento de la población, el aumento de la cantidad de vehículos y el incremento de actividad económica generan mayores cantidades de vehículos y camiones viajando por las carreteras, lo cual impone mayores pesos y cargas sobre las estructuras de pavimentos, por lo que la generación y aplicación del SAP se torna cada vez más importante. Cabe destacar que el SAP no debe limitarse solamente a la conservación vial, sino que hay que definir proyectos de mejoramiento, refuerzo, rehabilitación y ampliación de carreteras.

El comienzo de una gestión integral de los elementos de la infraestructura vial puede iniciar con un elemento fundamental y de particular importancia, en este caso en particular: el pavimento, pero en forma progresiva deben aplicarse herramientas que permitan gestionar la conservación e incorporar los demás elementos (Ej. alcantarillado, puentes, señalización, etc.) que proveen al usuario de una operación segura y de bajo costo (De Solminihac, 1998).

1.3 Proceso de Gestión de Infraestructura Vial Municipal

Para establecer un sistema de gestión vial es necesario delimitar todas sus fases y destacar de manera adecuada los productos asociados a cada una de ellas, el siguiente esquema demuestra el flujo grama para el proceso de gestión vial en el ámbito municipal.

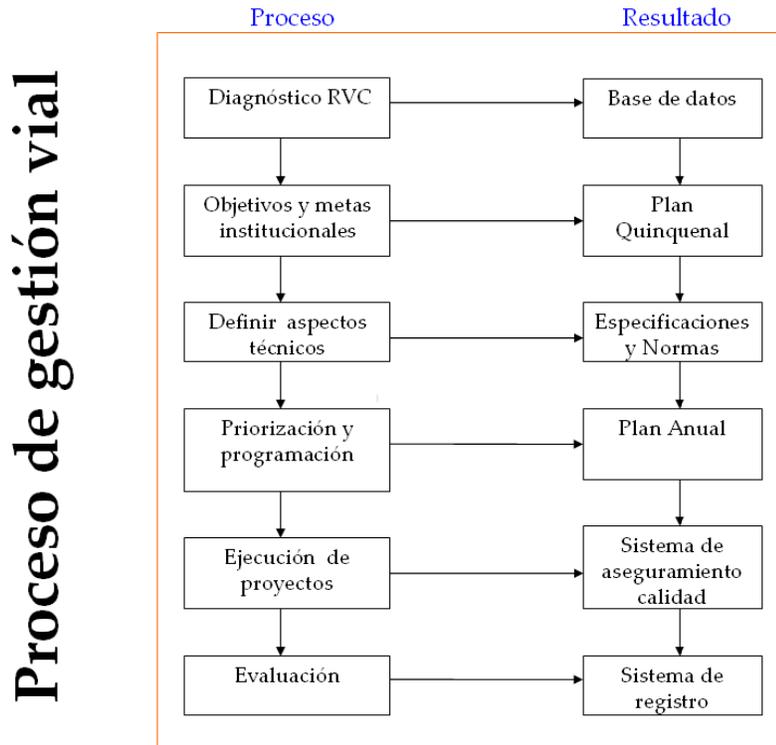


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial (Fuente: LanammeUCR, 2008).

Se elaboró el diagnóstico de la Red Vial Cantonal (RVC), el producto principal es la base de datos del diagnóstico, lo que permite determinar el estado actual de la red, insumo necesario para establecer políticas de priorización y planes de conservación y rehabilitación de las vías del cantón.

Los sistemas de gestión de infraestructura vial también conocidos como sistemas de administración de pavimentos, funcionan distintos niveles dependiendo del detalle:

- Nivel estratégico: planes globales a realizados a largo plazo (20 años). Permiten maximizar los recursos.
- Nivel táctico: planes que priorizan los proyectos por realizar a mediano plazo (4 ó 5 años).
- Nivel operativo: se enfoca en el diseño de los proyectos por ejecutar en el año siguiente.

1.4 Esquema Metodológico

A continuación se presenta el esquema metodológico implementado para determinar el diagnóstico de la RVC y obtener, a partir de los datos generados por el diagnóstico, diferentes escenarios de inversión, acorde con las posibilidades financieras del municipio.

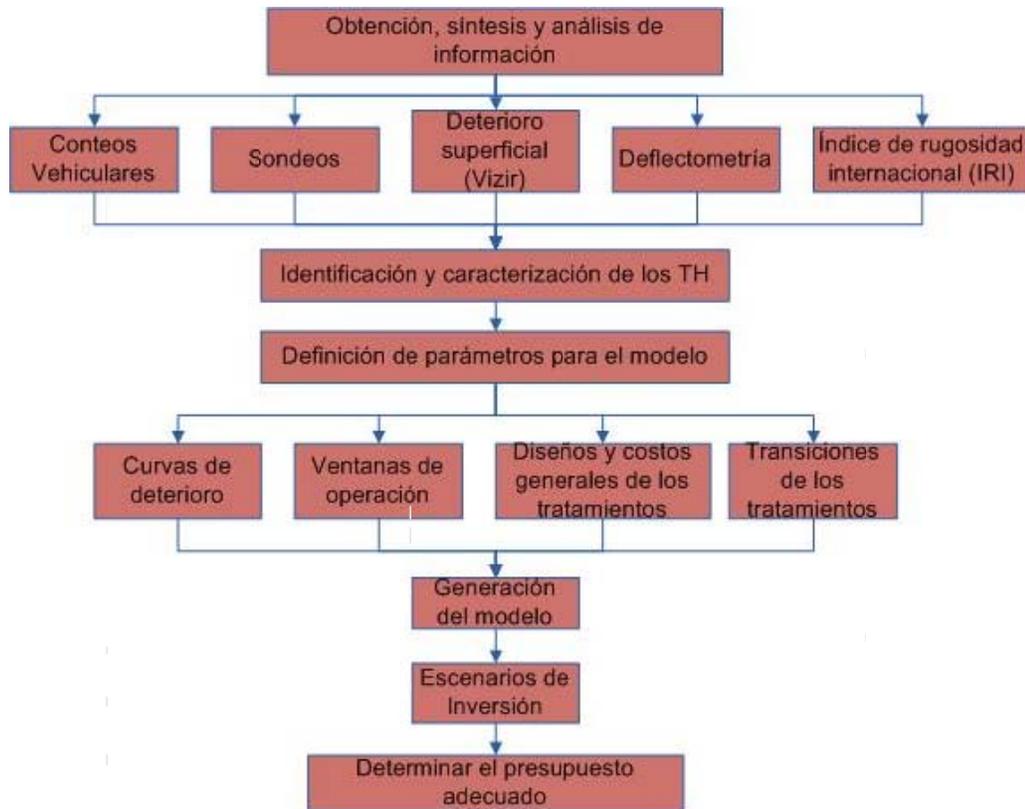


Figura 3. Esquema metodológico (Fuente: López, 2009).

2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS

Los tramos homogéneos son secciones de la vía que poseen características similares, se definen con el objetivo de seccionar las vías para aplicar una única solución por tramo, ya que a nivel operativo no es funcional que el tipo o diseño de la intervención requerida varíe en pocos metros.

Se consideraron los siguientes criterios para determinar los tramos homogéneos, los cuales se basaron en los valores de las deflexiones obtenidas en la evaluación de la red en el año 2009:

- La longitud mínima de cada tramo es de 300 m.
- Los tramos con una relación de la desviación estándar y la media (s/m) mayor que 0.45 se considerará como tramo no uniforme.

Los tramos homogéneos finales se obtuvieron por medio del método de diferencias acumuladas establecido por el AASHTO 93, a partir de la información de deflectometría. Existen vías con relaciones entre la desviación estándar y la media superiores a 0.45, esto con el fin de no seccionar más el tramo homogéneo determinado y tratar de mantener tramos con una longitud mínima de 300 m.

En total se obtuvo 47 tramos homogéneos a partir de aproximadamente 30,3 km evaluados, a continuación se tabula la información general de cada tramo y se muestra su representación gráfica.

Tabla 1. Tramos homogéneos de la RVC de Moravia, longitud y ubicación.

N° de Tramo	Ubicación/Nombre	Longitud (m)
1	Chileperro	1404,5
2	Calle Jardines	281,9
3	La Flor	298,5
4	La Artesanía	399,6
5	La Artesanía	322,5
6	Prolongación Las Artesanías	314,5
7		545,9
8	El Estadio	477,8
9	Norte BN	574,1
10	El Roble	347,6
11	Las Américas	398,9
12	Oeste Urb. Mi Casa	423,4
13	La Guaría	880,6
14	Barro de Olla	633,7



15	Linda Vista	285,4
16	Tibás-Moravia	245,2
17	Antiguo Lincoln	367,5
18	Colegios Sur	487,4
19	Colegios Sur	921,8
20	La Isla	531,0
21	La Isla	1406,2
22	La Isla	573,5
23	La Isla-San Rafael	806,3
24	Norte Saint Francis	470,1
25	Norte Saint Francis	387,9
26	El Rastro	817,4
27	Unión Guadalupe-Moravia	679,4
28	Unión Guadalupe-Moravia	364,9
29	Unión Guadalupe-Moravia	372,7
30	La Carreta	1403,4
31	La Carreta	1017,0
32	La Esmeregilda	750,4
33	Blocarenas	239,8
34	La Huesera	921,5
35	El Moral	365,5
36	El Moral	647,3
37	Los Sitios	1010,5
38	Los Sitios	631,5
39	La Fabiola	607,7
40	La Trinidad-Dulce Nombre	805,2
41	La Trinidad-Dulce Nombre	790,2
42	Platanares	1196,0
43	Nueva	897,0
44	La Torre	1199,9
45	Yerbabuena	1093,5
46	Jardines	317,2
47	La Fabiola	457,4

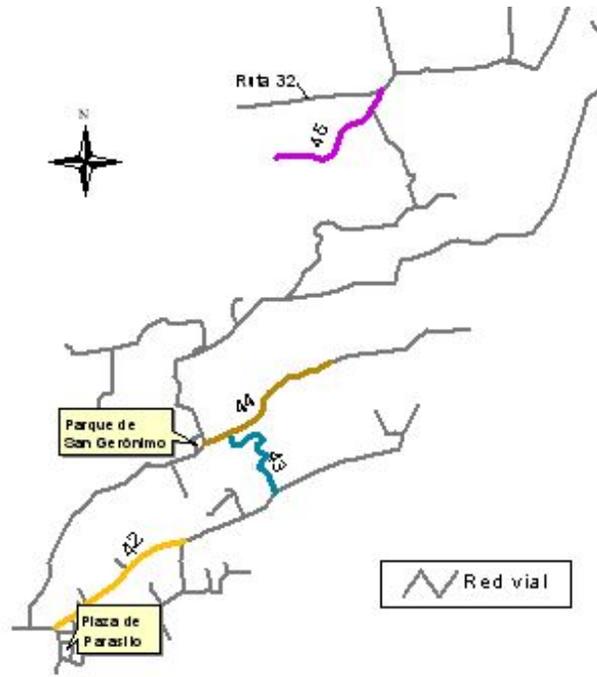


Figura 4. Tramos homogéneos de la RVC de San Vicente de San Jerónimo



Figura 5. Tramos homogéneos de la RVC de Vicente de Moravia.

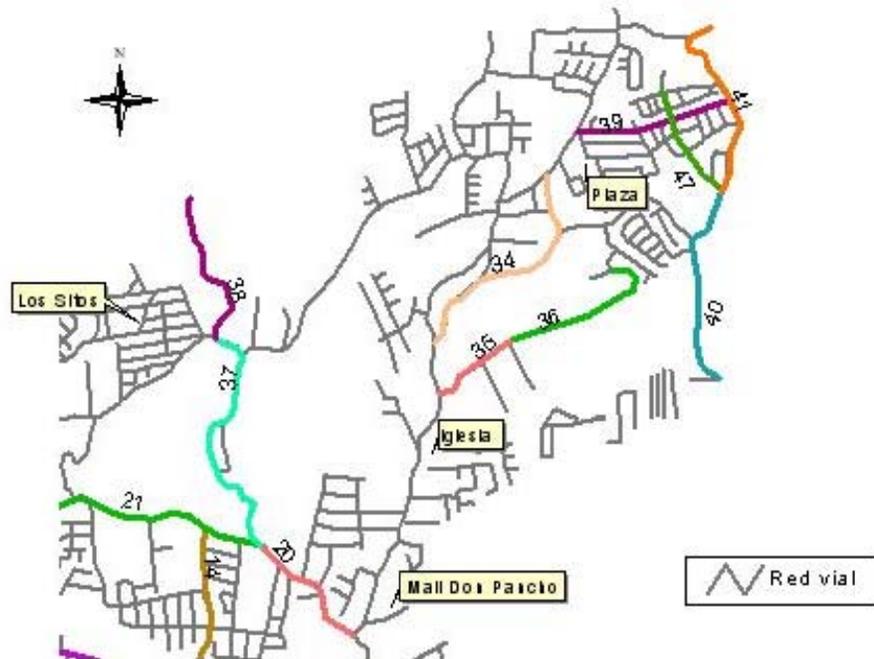


Figura 6. Tramos homogéneos de la RVC de La Trinidad de Moravia.

2.1 Deflexión e IRI promedio de los tramos homogéneos

Es importante aclarar que aunque los valores promedio asociados a cada tramo ofrecen una idea de la condición general del mismo, no es un valor representativo de las condiciones reales del tramo, ya que a cada tramo se le asocia cierta dispersión producto de la variabilidad de la evaluación del IRI o la deflectometría a través de este.

Un ejemplo sencillo del efecto de la dispersión de los datos se muestra al analizar los valores que se presentan en la siguiente tabla, donde la media de los datos en una Ruta es de 7.6, cuando es claro que la condición general del primer tramo (0 m-100 m) es mucho mejor que la condición del segundo tramo (100 m-250 m), por lo que utilizar un promedio general no refleja las condiciones reales de los 250 m.

Tabla 2. Valores de IRI para mostrar el efecto de la dispersión sobre el promedio de un conjunto de datos.

Tramo evaluado	IRI
0+000 - 0+025	5,3
0+025 - 0+050	5,2
0+050 - 0+075	4,9
0+075 - 0+100	5,1
0+100 - 0+125	9,5
0+125 - 0+150	9,8
0+150 - 0+175	9,2
0+175 - 0+200	9,4
0+200 - 0+250	9,8

2.1.1 Deflectometría promedio

Es necesario recordar que la condición estructural de una ruta está directamente relacionada con la respuesta ante las cargas a las que se ve expuesta. La medición de la capacidad estructural se realizó con el equipo deflectómetro de impacto (FWD, por sus siglas en inglés), tomando mediciones cada 50 metros en el año 2009. El procedimiento consiste en dejar caer una carga de impacto estándar sobre el pavimento y medir las deflexiones en nueve puntos, con diferentes distancias con respecto al punto donde se aplicó el impacto. Menores deflexiones implican mayor capacidad del pavimento ante las cargas, por lo que grandes deflexiones son asociadas a una deficiente capacidad de la estructura del pavimento para soportar las cargas.

Para categorizar el estado estructural de cada tramo homogéneo se utiliza la clasificación que se presenta en la siguiente figura, donde se consideran diferentes rangos de deflectometría según el TPDA de las vías y el tipo de estructura (pavimento con base

granular o estabilizada). Cabe destacar que esta categorización fue generada a partir de datos de la red vial nacional costarricense, tras una investigación desarrollada por la Unidad de Investigación del LanammeUCR y cuyos resultados completos y descripción de la metodología utilizada se muestran en el Informe N° UI-PC-03-08.

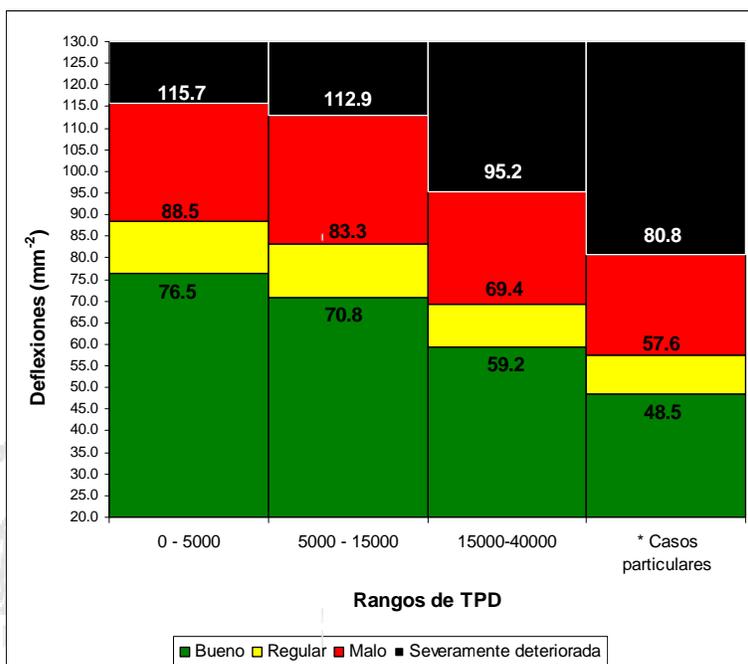


Figura 7. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base granular. Fuente: Informe N° UI-PC-03-08.

Para caracterizar los resultados de deflectometría es necesario conocer el tránsito promedio diario (TPD) que circula sobre las diferentes rutas. Se realizó conteos con el personal de la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR en noviembre del 2009, pues la Municipalidad no contó con los recursos para realizarlos.

Por cuestión de recursos no fue posible realizar conteos en todas las rutas, por lo que se realizaron conteos en algunas de las vías más representativas del cantón, resultados que se presentan en la columna “TPD _{aproximado}” de la Tabla 3 (TPD aproximado ya que los conteos fueron aproximados a la centena superior a partir de los datos de los conteos), mientras que el valor del volumen vehicular de las vías aledañas fue extrapolado a partir de los conteos realizados, los valores se muestran en la columna “TPD _{asumido}”.

Tabla 3. Volumen vehicular aproximado o asumido para las diferentes vías en estudio

Nombre de la Vía	TPD _{aproximado}	TPD _{asumido}
Chileperro	11000	0
Jardines	0	5500
Calle Jardines	0	5500
La Artesanía	10200	0
Prolongación Las Artesanías	8800	0
Bulevar	0	3500
El Estadio	5500	0
Norte BN	0	8000
El Roble	0	3000
Las Américas	0	5500
Oeste Urb. Mi Casa	0	3000
La Guaria	10000	0
Barro de Olla	3500	0
Linda Vista	0	3500
Límite Tibás-Moravia	0	5500
Antiguo Lincoln	0	8000
Colegios Sur 2	0	3000
La Isla (sector este)	8200	0
La Isla (sector oeste) ¹	0	4500
La Isla-San Rafa	0	5500
Norte Saint Fran	4800	0
El Rastro	10100	0
Límite Guadalupe-Moravia	0	8000
La Carreta	15900	0
La Esmeregilda	5500	0
Blocarenas	0	5500
La Huesera	0	2000
El Moral	0	2000
Los Sitios	3700	0
La Fabiola	0	2500
La Trinidad-Dulce Nombre	3500	0
Platanares	2100	0
Nueva	2500	0
La Torre	2000	0
Yerbabuena	1000	0
La Flor	5500	0

¹Primeros 950 m, medidos en sentido oeste-este.

Fuente: LanammeUCR

En las siguientes figuras se muestra de manera gráfica la caracterización de la red evaluada, según los valores promedio de las deflexiones.

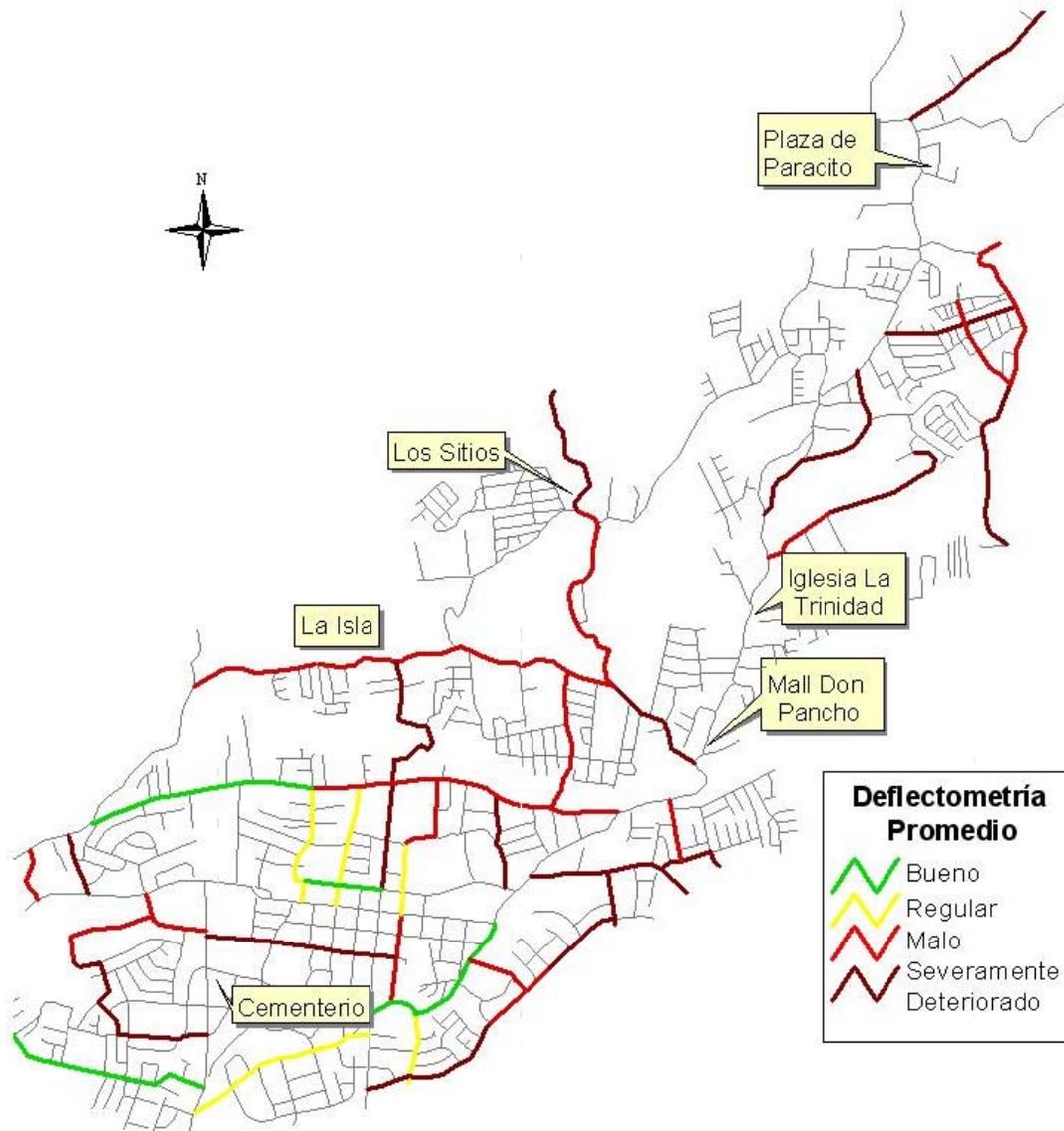


Figura 8. Deflectometría promedio de las vías analizadas de San Vicente y La Trinidad.

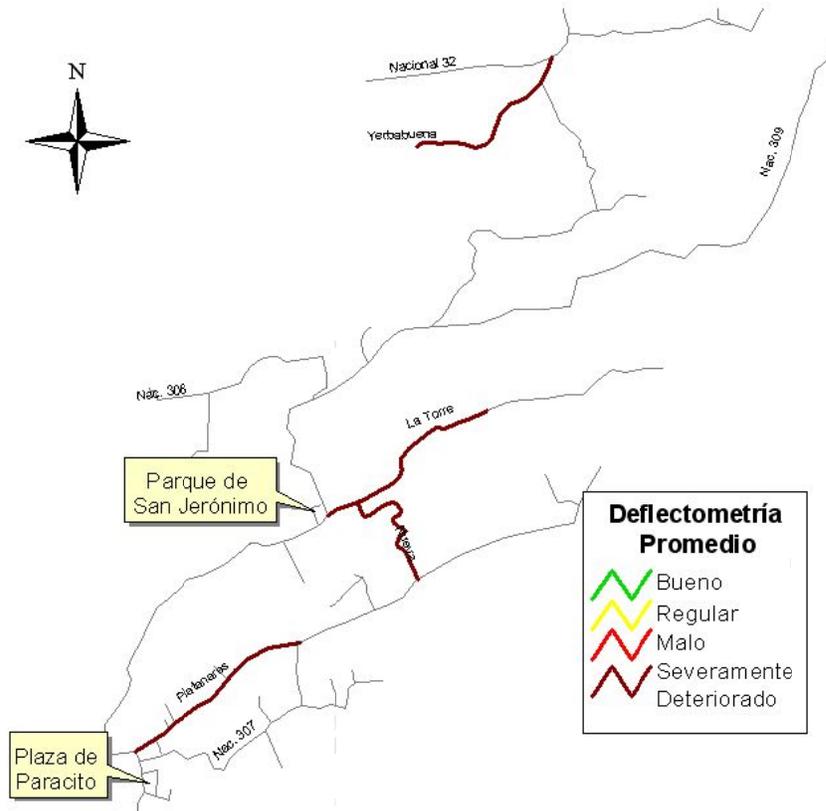


Figura 9. Deflectometría promedio de las vías analizadas de San Jerónimo

Para cada categoría de condición estructural se realiza un análisis en el que se determinan la cantidad de metros lineales y cantidad de tramos homogéneos asociados, los cuales se sintetizan en las figuras 10 y 11.

Tabla 4. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de FWD promedio, sobre la red vial cantonal de Moravia evaluada.

Condición	Cantidad de tramos	Longitud (m)
Bueno	4	3813,06
Regular	4	1865,23
Malo	16	9484,07
Severamente deteriorado	23	15208,54
Total	47	30370,9

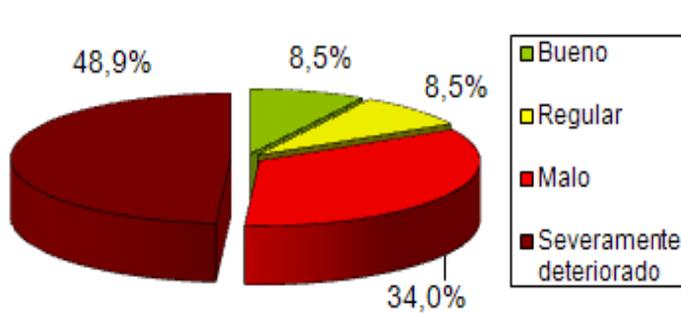


Figura 10. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el FWD promedio.

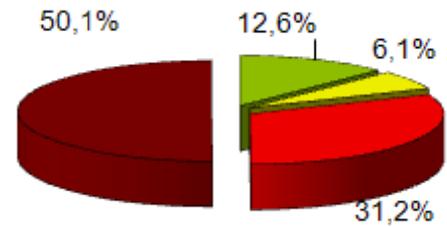


Figura 11. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según FWD promedio.

En ambas figuras es posible observar que cerca del 50% de la red analizada presenta condiciones estructurales bastante deficientes, lo cual se traduce como un deterioro estructural avanzado de las principales rutas cantonales. Además se evidencia que alrededor del 10% de la red en estudio presenta buenas condiciones estructurales, lo que representa poco más de 3800 m.

2.1.2 IRI promedio

El Índice de Regularidad Internacional es utilizado en muchos países como parámetro de aceptación de obras así como para la gestión de pavimentos. Este índice está relacionado con los costos de operación de los vehículos y la vida útil de los pavimentos.

El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la regularidad de un camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS), para una velocidad de desplazamiento de 80 Km./h. El IRI aumenta conforme la rugosidad aumenta

El IRI se cálculo a partir de los resultados obtenidos al realizar mediciones con el perfilómetro inercial láser propiedad del LanammeUCR, el valor del IRI fue calculado cada 25 m sobre

diferentes vías de la red cantonal de Moravia, esta evaluación se realizó en febrero del 2009 abarcando toda la red vial con una longitud aproximada de 33 Km.

El análisis del $IRI_{promedio}$ de cada tramo presenta resultados de deterioro severo acerca del estado funcional en el que se encuentran las rutas analizadas, debido a la gran irregularidad que estas presentan, en la siguiente figura es posible visualizar la condición promedio para los diferentes tramos.

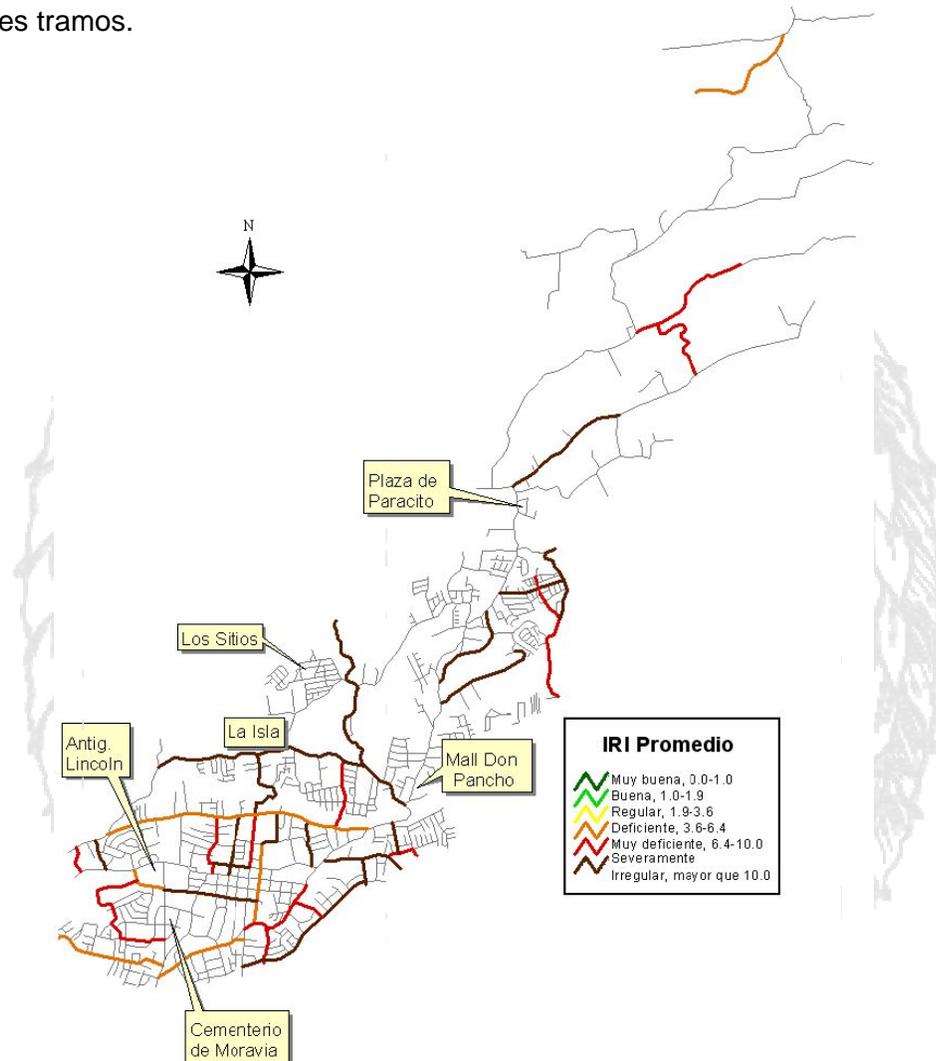


Figura 12. IRI promedio de los diferentes tramos analizados del cantón de Moravia.

La distribución de la cantidad de tramos homogéneos y de los metros lineales asociados a cada categoría de IRI se muestra porcentualmente en las siguientes figuras. De los cuales se

destaca que más del 50% de la red evaluada posee IRI superior a 10,0 m/km, correspondiente a una vía sumamente irregular, lo que implica un mayor costo de operación para los usuarios, mayor tiempo de viaje y un viaje poco confortable sobre estos tramos. Además es posible observar que la totalidad de los tramos evaluados poseen valores superiores a los 3.6 m/km, correspondiente a una condición deficiente.

Tabla 5. Cantidad tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de IRI promedio, sobre la red vial cantonal de Moravia evaluada.

Condición	Cantidad de Tramos homogéneos	Longitud (m)
Deficiente	8	6612,44
Muy Deficiente	11	6943,25
Severamente Irregular	28	16815,21
Total	47	30 370,9

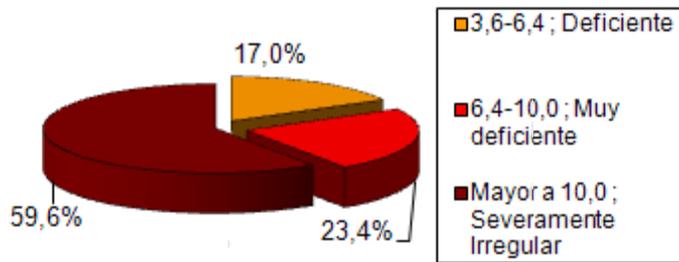


Figura 13. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el IRI promedio.

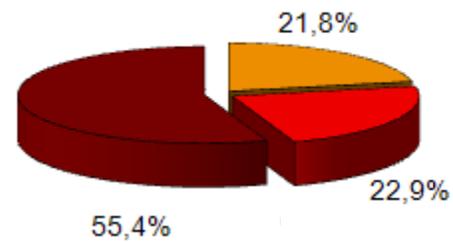


Figura 14. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según el IRI promedio.

2.2 Deflexión e IRI característicos

Se utilizó el criterio de la deflexión y el IRI característicos para describir la condición de cada tramo con respecto a este parámetro, esto para considerar la desviación de los datos, lo que representa un valor más representativo de las condiciones reales.



La deflexión e IRI característico dan una noción integral de la condición de los pavimentos de la RVC asfaltada de Moravia. Tanto la evaluación del IRI como el de la deflectometría fueron realizados en enero del 2009.

Se aplicó un 80% de confianza lo que equivale a un valor de 0.841 veces la desviación estándar para una distribución normal, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$d_k = m + 0.841s$$

Donde:

d_k : es la deflexión o IRI patrón o característica.

m : promedio de las deflexiones o del IRI del tramo homogéneo.

s : desviación estándar del tramo homogéneo.

2.2.1 Deflexión Característica

La condición de la deflexión característica de cada tramo difiere, en algunos de estos, del valor asociado al promedio de la deflexión, esto se debe a que los datos característicos contemplan en su cálculo el valor de la dispersión de un conjunto de datos. Los tramos que poseen un valor cercano al límite para cambiar la categoría de estado o los que presentan una dispersión muy alta cambian de categoría, lo que provoca que los resultados asociados a este análisis presenten una mayor cantidad de tramos en condición severamente deteriorada. Los resultados obtenidos bajo este análisis indican que las rutas que se encuentran fuera del rango de condición estructural severamente deteriorada son únicamente: Chileperro, El Rastro, Continuación de las Artesanías, La Guaria, calle Norte del Banco Nacional, tramo oeste de la carreta y norte de las artesanías, tal y como se muestra en la siguiente figura.

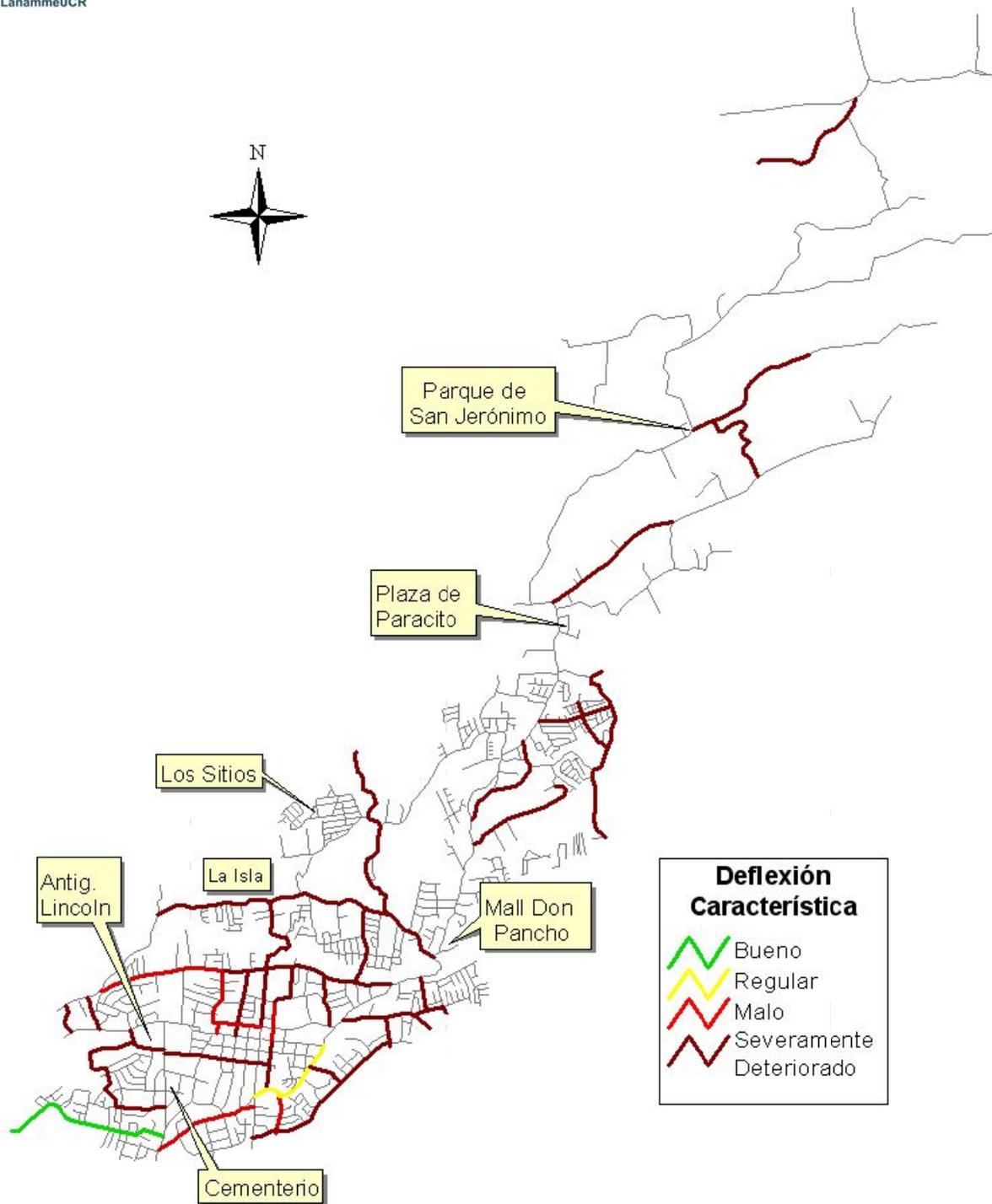


Figura 15. Deflectometría característica de los diferentes tramos homogéneos de Moravia analizados.

Tabla 6. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de FWD característico, sobre la red vial cantonal de Moravia evaluada.

Condición	Cantidad de tramos	Longitud (m)
Bueno	1	1404,48
Regular	1	817,42
Malo	6	3456,39
Severamente deteriorado	39	24692,61
Total	47	30370,9

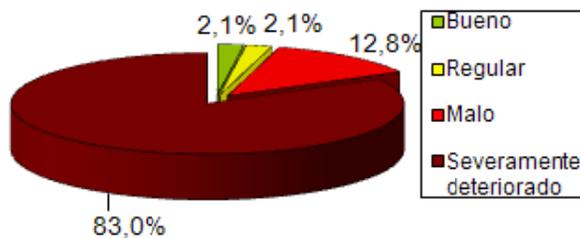


Figura 16. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el FWD característico

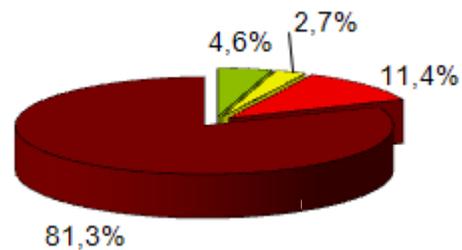


Figura 17. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según FWD característico

Al observar las dos figuras anteriores, así como la figura 15 es posible afirmar que la condición característica de la red empeora si esta se compara con la condición promedio de la deflectometría, esto se debe a la gran dispersión de los datos asociados a cada tramo homogéneo.

Si se considera la deflectometría promedio cerca del 50% de la red analizada posee condiciones estructurales muy deficientes (severamente deteriorado), mientras que si se consideran la deflexión característica asociada a cada tramo más del 80% presenta estas condiciones.

2.2.2 IRI Característico

Se realizó un análisis similar al que se presenta en la sección 2.2.1 del presente informe, sin embargo, en este caso se consideran los valores del IRI característico asociado a cada tramo, a continuación se muestra una figura en la que es posible observar gráficamente los resultados obtenidos de IRI característico para las principales rutas de la vial cantonal en cuestión.

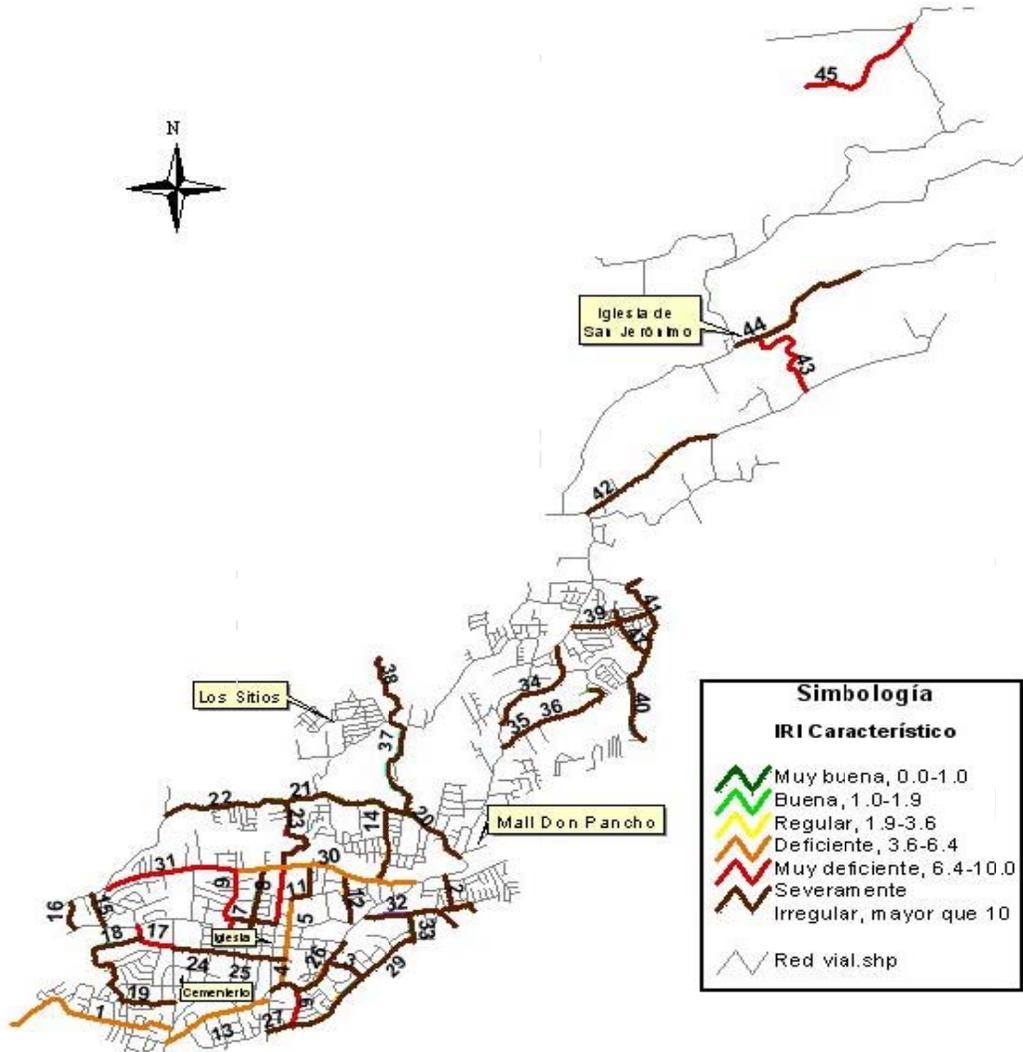


Figura 18. Clasificación de IRI característico para cada tramo homogéneo

Red Evaluada en el mes de enero, 2009.

Tabla 7. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de IRI característico, sobre la red vial cantonal de Moravia evaluada.

Condición	Cantidad de Tramos	Longitud (m)
Deficiente	4	3 529,9
Muy Deficiente	8	5 622,1
Severamente Irregular	35	21 218,9
Total	47	30 370,9

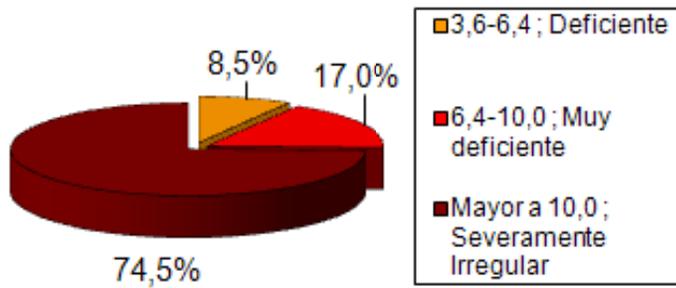


Figura 19. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el IRI característico.

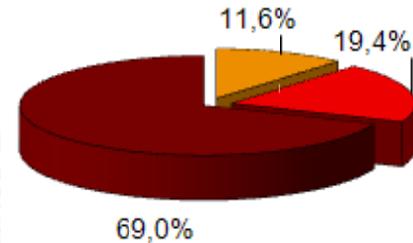


Figura 20. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según IRI característico.

Al analizar los resultados de los valores característicos de IRI que describen la condición superficial de las rutas evaluadas es posible afirmar que el grado de confort del usuario, es bastante deficiente. Cerca del 75% de los tramos homogéneos, lo que constituye un 69,0% de los kilómetros evaluados presentan una condición severamente irregular, según los valores de IRI característico. Además se evidencia que en las vías evaluadas no se presentan valores de IRI característico menores a 3,6 por lo que no posee vías en condiciones de regularidad muy buena, buena o regular.

2.3 Indicadores de Condición

Para determinar la condición de cada tramo homogéneo se utilizó una metodología donde fue necesario calcular los índices de condición SAI y PRI, esto con el objetivo de caracterizar los diferentes tramos por el valor del índice de condición del pavimento (PCI) el cual está dado por la siguiente fórmula:

$$PCI = k_1 * SAI + k_2 * PRI$$

Se le asigna un peso (k_1 y k_2) del 50% a cada parámetro, de esta manera se evalúa la condición del pavimento con la misma magnitud de importancia para el estado estructural, asociado al SAI, como a la condición funcional, descrita por el valor de PRI, ambos índices son descritos seguidamente.

2.3.1 Índice de condición estructural: SAI

El cálculo del SAI se genera a partir de la normalización de los valores asociados a la deflectometría, específicamente a los valores del área normalizada que forma el área del cuenco generado por las deflexiones medidas por los geófonos del deflectómetro de impacto. Las fórmulas utilizadas para el cálculo de este índice se presentan a continuación:

$$Area_{tramo} = 150 \left(\frac{D_1 + 2D_2 + 2D_3 + D_4}{D_1} \right)$$

$$SAI = \left(\frac{Area_{tramo} - Area_{min}}{Area_{max} - Area_{min}} \right)$$

Donde:

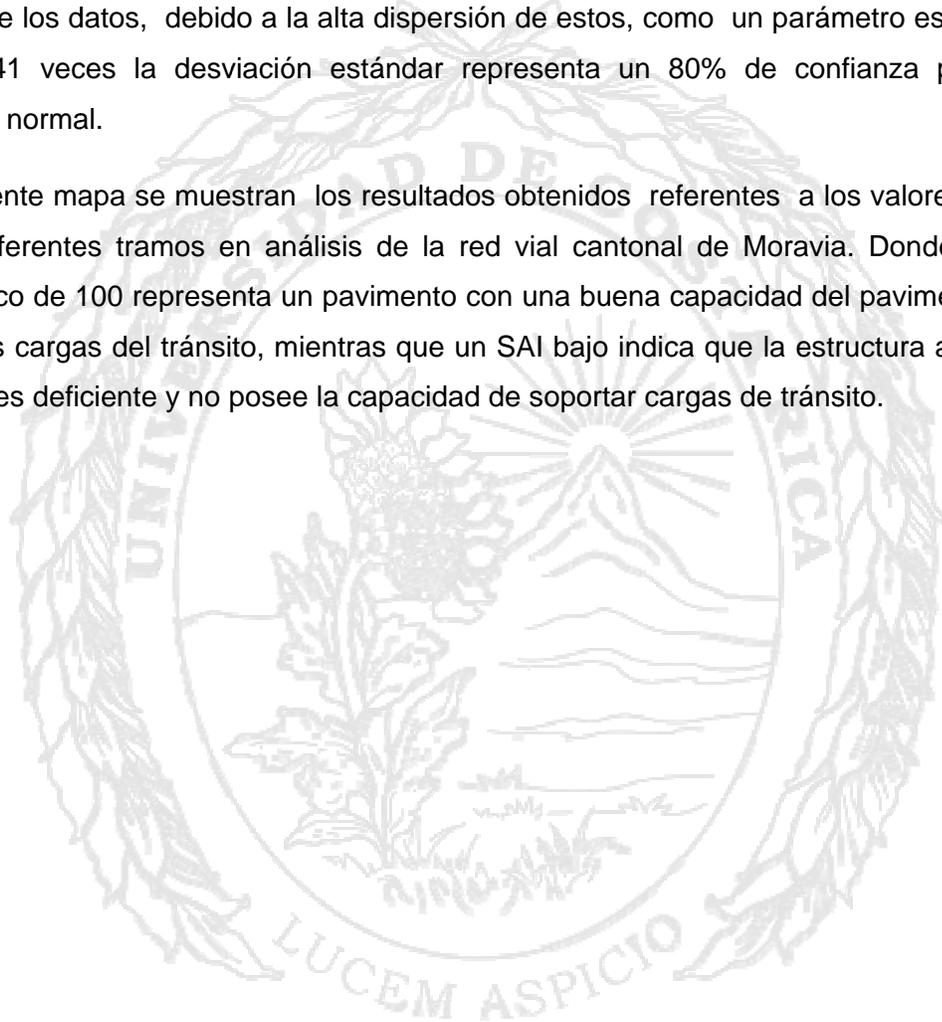
$Área_{tramo}$: Valor promedio del área de los diferentes sitios del tramo donde se realizó el ensayo de deflectometría.



Los valores de $\text{área}_{\text{máx}}$ y $\text{área}_{\text{mín}}$ utilizadas para determinar el SAI fueron definidos a partir del análisis de los datos de deflexiones de diferentes redes municipales, las cuales fueron realizadas por el LanammeUCR. Los valores obtenidos considerando que los datos poseen una Distribución Normal, con un 95% de confianza. Se obtuvo un valor mínimo del área de 321.62 y un valor máximo de 639.80.

Cabe destacar que para el cálculo del SAI característico no se utiliza únicamente el valor promedio de los datos, debido a la alta dispersión de estos, como un parámetro estadístico, donde 0.841 veces la desviación estándar representa un 80% de confianza para una distribución normal.

En el siguiente mapa se muestran los resultados obtenidos referentes a los valores de SAI para los diferentes tramos en análisis de la red vial cantonal de Moravia. Donde un SAI característico de 100 representa un pavimento con una buena capacidad del pavimento para soportar las cargas del tránsito, mientras que un SAI bajo indica que la estructura actual del pavimento es deficiente y no posee la capacidad de soportar cargas de tránsito.



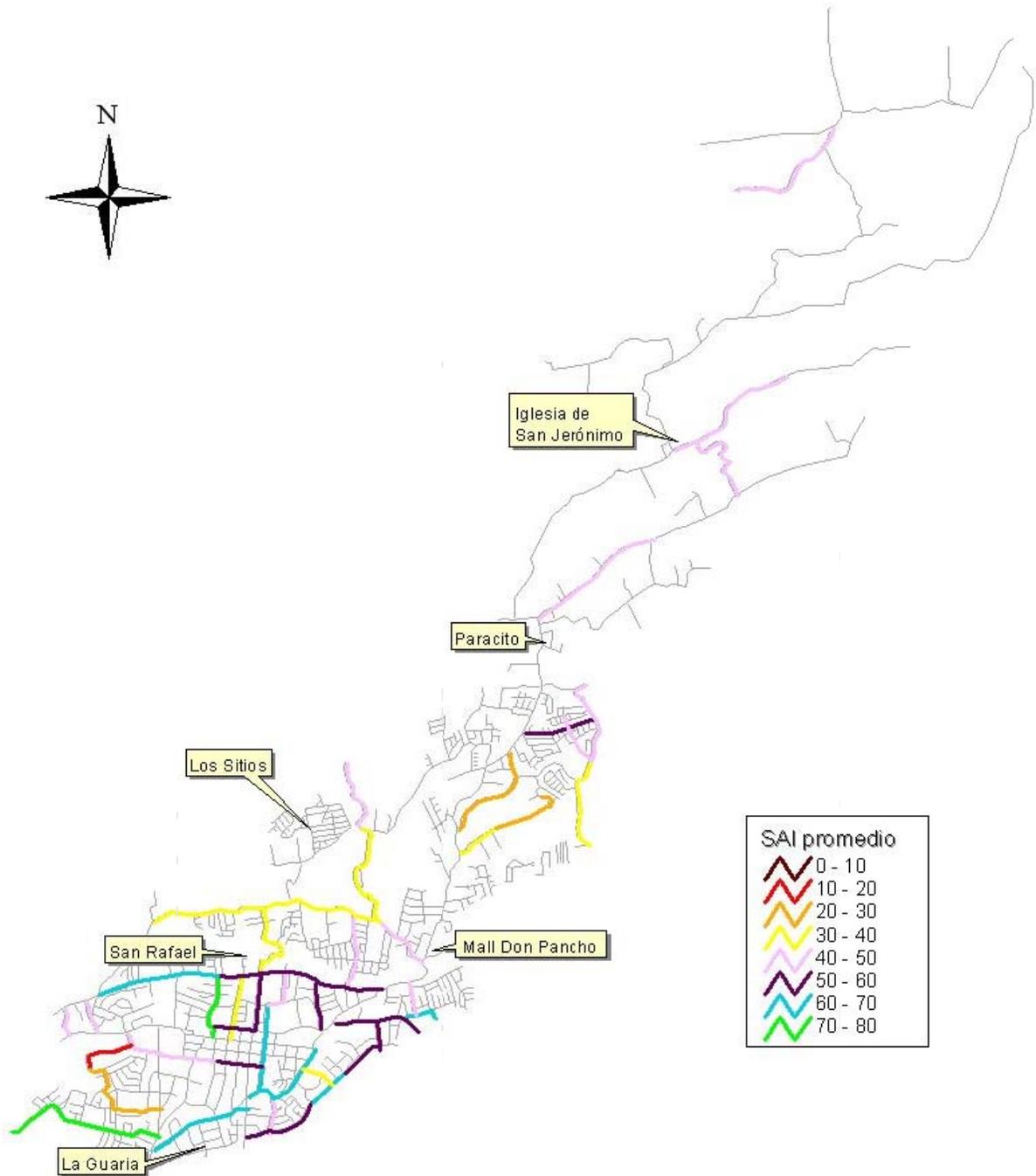


Figura 21. SAI promedio para cada tramo homogéneo en estudio

Tabla 8. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de SAI

promedio, sobre la red vial cantonal de Moravia evaluada.

Rango	Cantidad de TH	Longitud (m)	% Longitud
0-10	0	0,0	0,0%
10-20	1	487,4	1,6%
20-30	3	2490,6	8,2%
30-40	8	5796,4	19,1%
40-50	16	9808,7	32,3%
50-60	10	5916,5	19,5%
60-70	7	4119,2	13,6%
70-80	2	1752,1	5,8%
Total	47,00	30370,9	100,0%

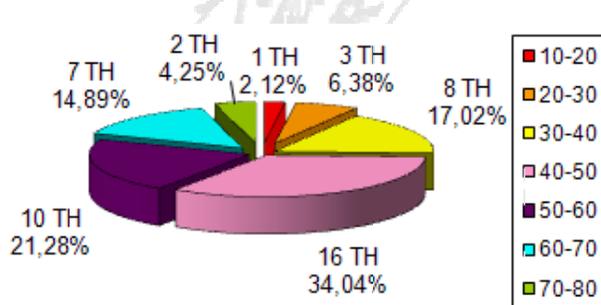


Figura 22. Gráfico de cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de SAI promedio.

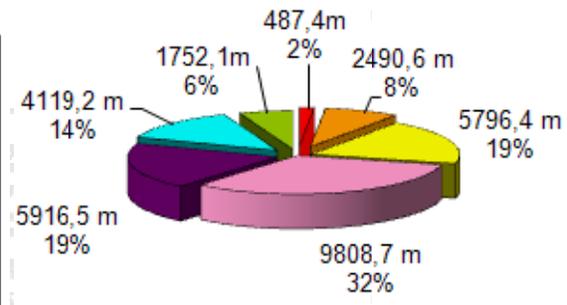


Figura 23. Gráfico de de metros asociados a diferentes rangos de SAI promedio.

Es posible observar que cerca de la mitad de la red posee condiciones intermedias de condición estructural, entre 40% y 60%, únicamente el 20% de los kilómetros evaluados poseen un SAI superior al 60%, lo que indica una capacidad estructural de regular a buena, mientras que el restante 30% posee condiciones bastante deficientes con un índice estructural (SAI) inferior al 40%.

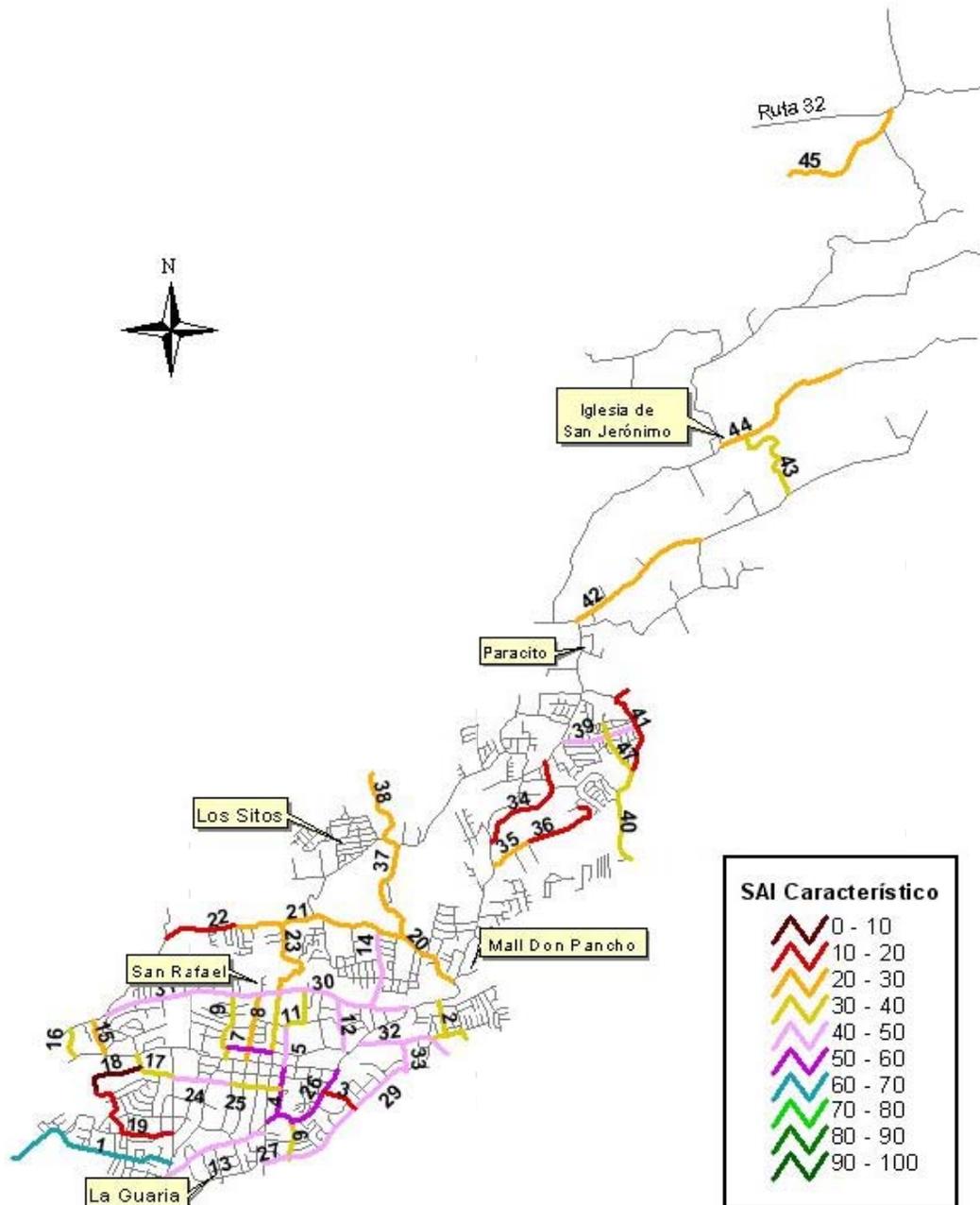


Figura 24. SAI característico para cada tramo homogéneo en estudio
Red Evaluada en el mes de enero, 2009.

Tabla 9. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de SAI característico, sobre la red vial cantonal de Moravia evaluada.

Rango	Cantidad de Tramos	Longitud (m)
0-10	1	487
10-20	6	4153
20-30	11	9072
30-40	12	5525
40-50	13	8165
50-60	3	1565
60-70	1	1404
Total	47	30371

*TH: Tramos homogéneos

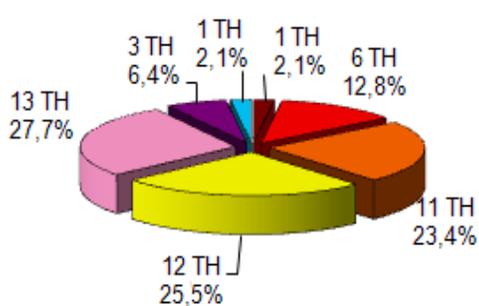


Figura 25. Gráfico de cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de SAI característico.

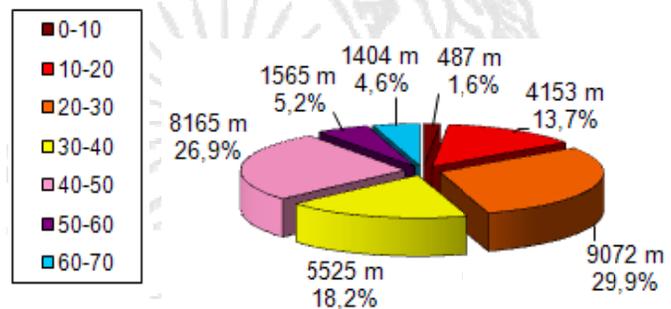


Figura 26. Gráfico de de metros asociados a diferentes rangos de SAI característico.

En las figuras 25 y 26 se observa, que cerca de dos terceras partes de los tramos se encuentran en condiciones estructurales deficientes (SAI entre 0 y 40), panorama que se mantiene al considerar la longitud de los tramos, ya que se obtiene que más de 63% de las vías analizadas presenta deficiencias (SAI_{característico} de 0% a 40%), lo que representa poco más de 19 km. Alrededor de un 34% de los tramos presentan condiciones estructurales regulares (40-60), cerca de 9.7 km. Mientras que únicamente un tramo homogéneo presenta buenas condiciones estructurales al considerar el SAI_{característico}, el cual tiene una longitud de 1404 m, correspondiente a la calle llamada “Chileperro”.



2.3.2 Índice de condición funcional: PRI

Para determinar los valores mínimos y máximos del IRI utilizados para obtener el PRI asociado a cada tramo, se realizó un procedimiento similar al anterior, sin embargo, debido al comportamiento de los datos, la distribución que mejor se ajustó fue la distribución gamma, manteniendo porcentaje de confianza (95%). Los valores obtenidos son de 1.52 como IRI mínimo y de 19.12 como IRI máximo. Una vez obtenidos se aplica la ecuación del PRI para caracterizar cada tramo, la cual se presenta a continuación a igual que las ec:

$$PRI = 100 * \left(\frac{IRI_{promedio} - IRI_{min}}{IRI_{máx} - IRI_{min}} \right)$$

$$PRI_{característico, j} = IRI_{promedio, j} + 0.841 * IRI_{desviación, j}$$

$$PRI = 100 * \left(\frac{IRI_{característico, j} - IRI_{min}}{IRI_{máx} - IRI_{min}} \right)$$

Donde:

$IRI_{característico, j}$: Valor de área representativo del tramo homogéneo, considera la dispersión de los datos.

IRI_{tramo} : Promedio de los datos de área que conforman el tramo homogéneo "j" en estudio.

$IRI_{desviación, j}$: Desviación estándar de los datos de área que conforman el tramo homogéneo "j" en estudio.

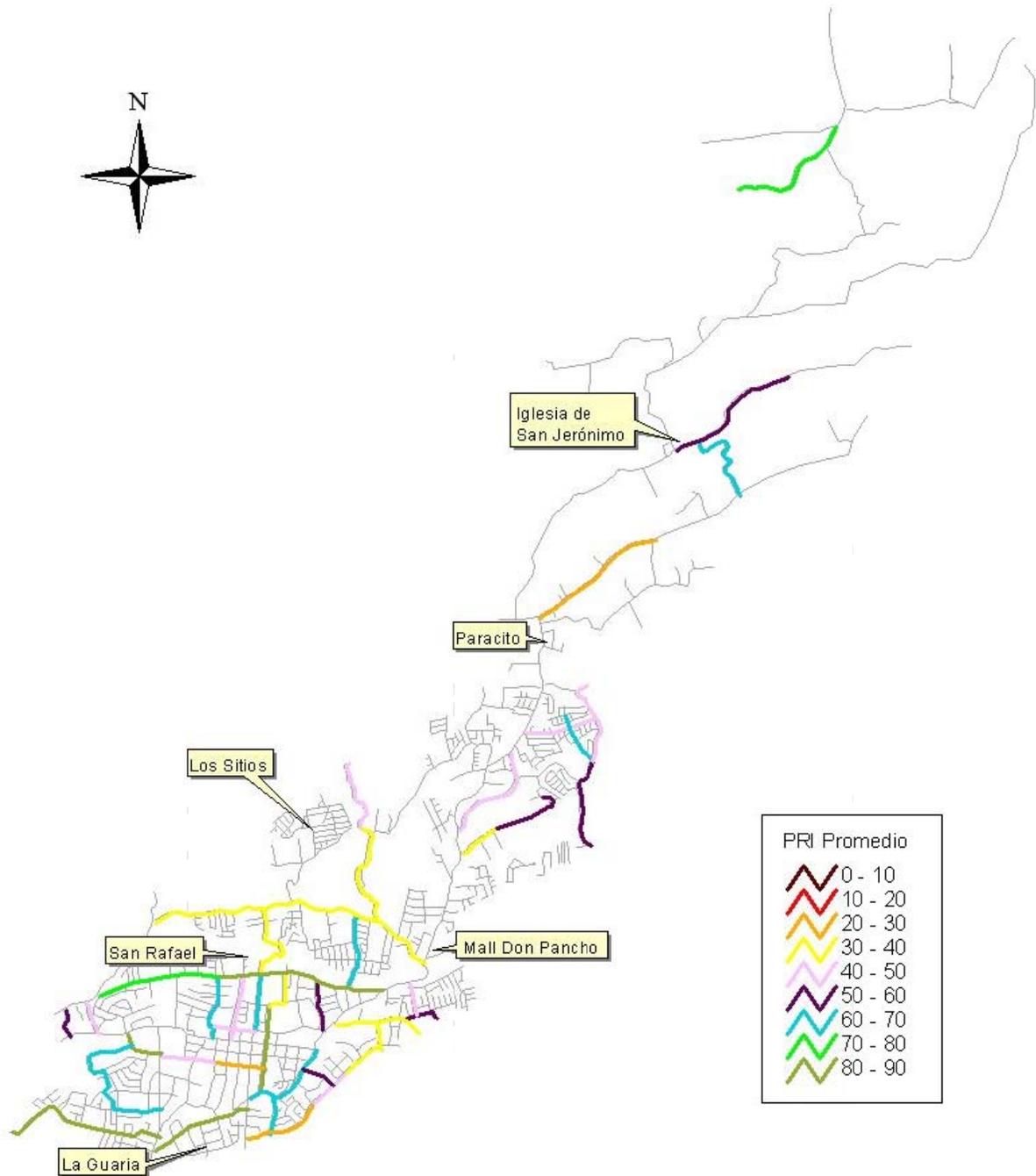


Figura 27. PRI promedio para cada tramo homogéneo en estudio.

Tabla 10. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de PRI promedio, sobre la red vial cantonal de Moravia evaluada.

Rango	Cantidad de tramos	Longitud (m)	% longitud
20-30	3	2263,3	7,5%
30-40	10	6446,8	21,2%
40-50	10	5254,3	17,3%
50-60	7	3936,7	13,0%
60-70	9	5581,3	18,4%
70-80	2	2110,5	6,9%
80-90	6	4778,0	15,7%
Total	47,00	30370,9	100,0%

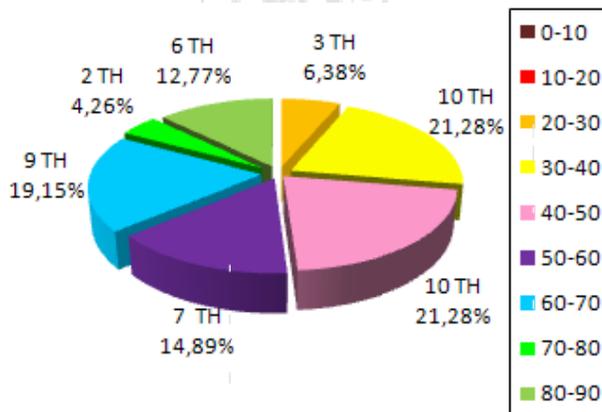


Figura 28. Gráfico de cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de PRI promedio.

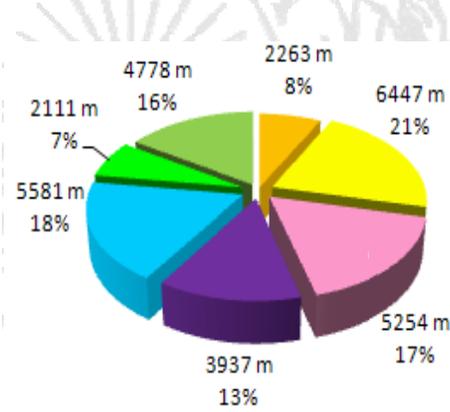


Figura 29. Gráfico de cantidad de metros asociados a diferentes rangos de PRI promedio

Un 28.7% de las rutas evaluadas poseen un PRI promedio inferior al 40%, mientras que un 30.3% presenta un índice de condición regular entre 40% y 60% , mientras que un 41% de la red posee un PRI promedio superior al 60%. Es importante mencionar que una nota de 100% en el PRI representa un tramo con condiciones de IRI iguales o mejores que el 95% de los datos analizados para determinar el IRI máximo y mínimo.

En la Figura 30 se presenta de manera gráfica los resultados obtenidos al analizar los resultados incorporando la dispersión del conjunto de datos que se asocian a cada tramo, como se ha comentado antes en diferentes secciones de este informe, es de esperar que tramos que poseen una dispersión alta en el conjunto de datos, por lo que es posible que pasen de un rango de datos a otro, empeorando la condición general de la red.

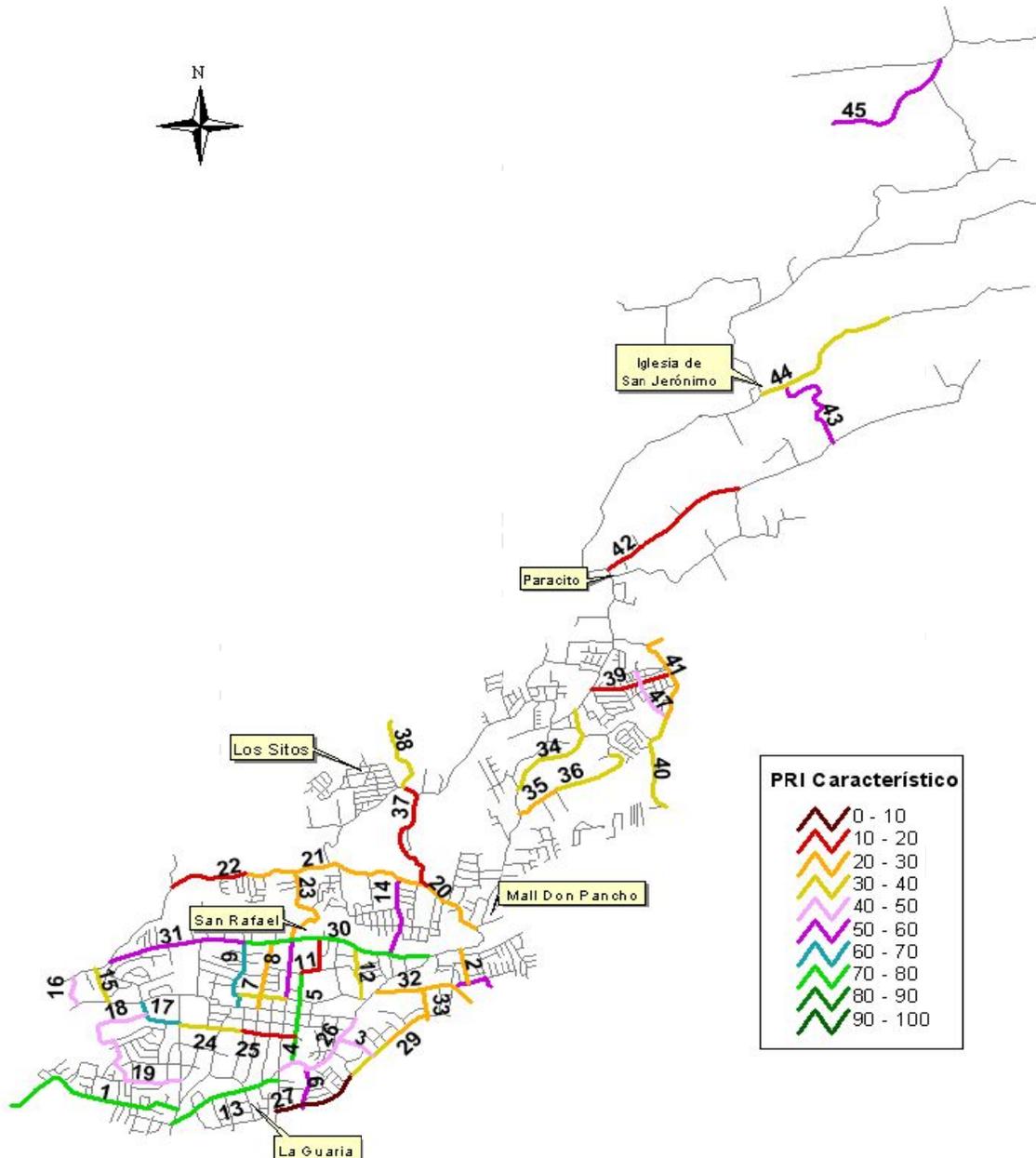


Figura 30. PRI característico para cada tramo homogéneo en estudio

Red Evaluada en el mes de enero, 2009.

En la figura anterior se puede apreciar que una parte importante de red, cercana a una tercera parte, presenta deficiencias importantes en el IRI de la carretera al evaluarlo mediante el índice de condición característico PRI. Sin embargo, es importante destacar que 5 de los tramos, los cuales representan un 14,5% de la longitud total analizada posee una buena condición funcional, ya que posee un índice PRI de entre 70-80. Estas condiciones se observan más fácilmente en las siguientes figuras.

Tabla 11. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de PRI característico, sobre la red vial cantonal de Moravia evaluada.

Rango	Cantidad de Tramos	Longitud (m)
0-10	1	679,4
10-20	6	4174,4
20-30	10	6089,7
30-40	10	6096,8
40-50	6	3227,7
50-60	7	4750,8
60-70	2	941,7
70-80	5	4410,5
Total	47	30370,9

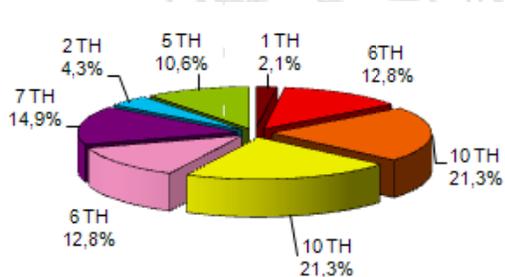


Figura 31. Gráfico de cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de PRI característico.

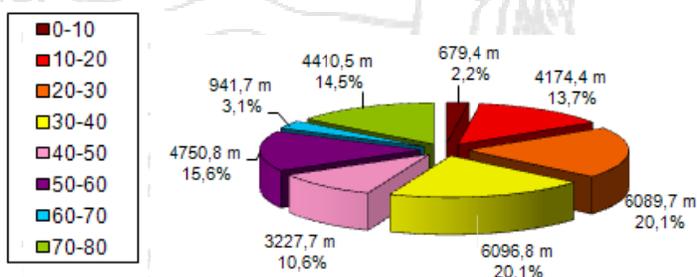


Figura 32. Gráfico de cantidad de metros asociados a diferentes rangos de PRI característico.

2.3.3 Índice de Condición del Pavimento: PCI

Una vez obtenidos el índice estructural SAI y el funcional PRI se obtiene un índice de condición del pavimento PCI (por sus siglas en inglés) el cual es el resultado de una ponderación entre el SAI y el PRI. Para la Municipalidad de Moravia se utiliza la ponderación que le atribuye igual nivel de importancia a la condición estructural como a la funcional, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$PCI = 50\% SAI + 50\% PRI$$

El determinar el valor de PCI asociado a cada tramo de la red evaluada permite tener una noción integral de la condición en la que se encuentra la vía. Ya que para caracterizar el estado de la vía se utiliza una escala de valores utilizada en el Departamento de Transportes de New Brunswick (NBDOT), la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12. Categorización de la vía según valor de PCI

Categoría	PCI
Muy Bueno	80-100
Bueno	60-80
Regular	40-60
Pobre	25-40
Muy Pobre	0-25

(Fuente: NBDOT, 2005).

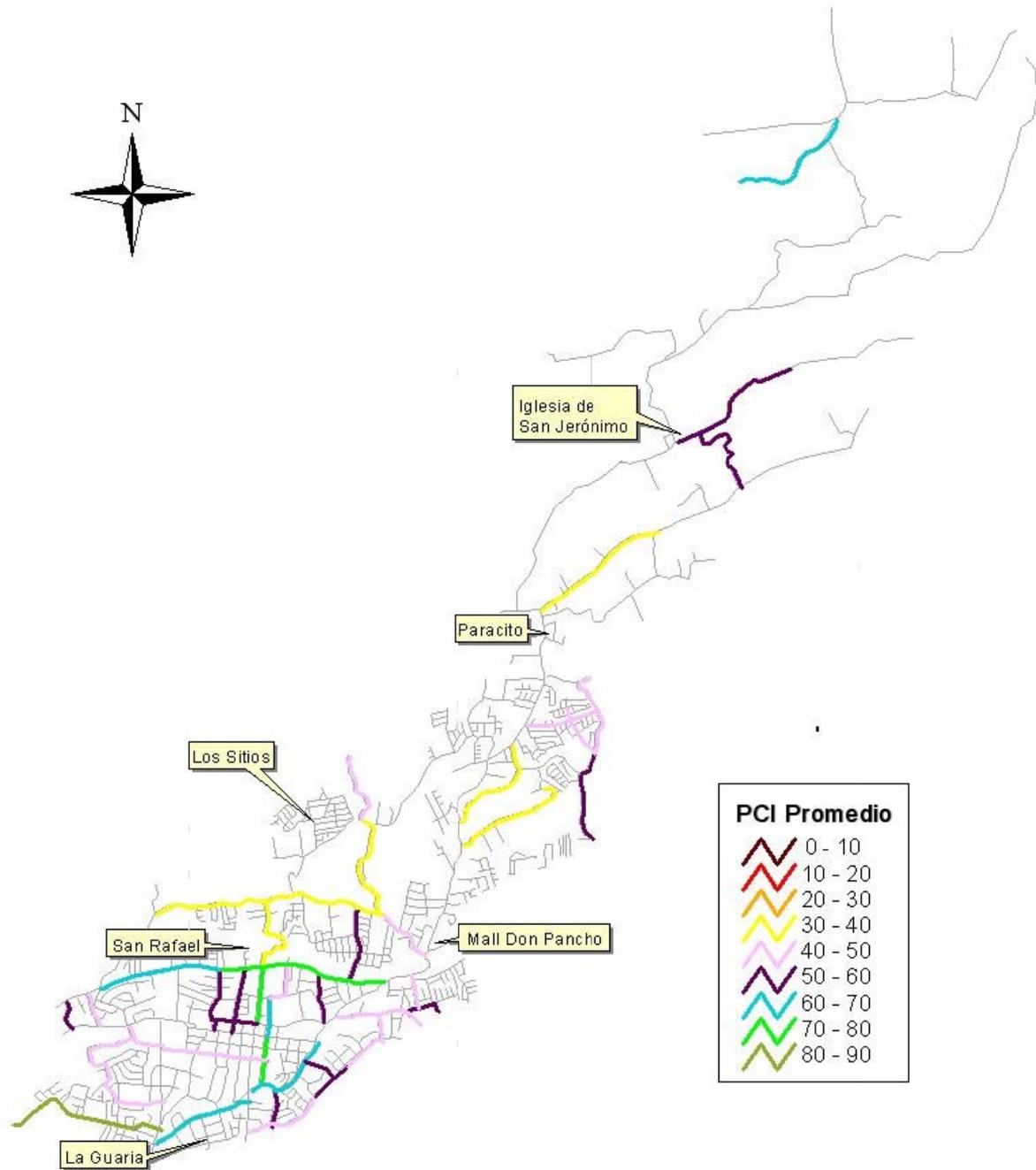


Figura 33. Rango de PCI promedio para los tramos homogéneos

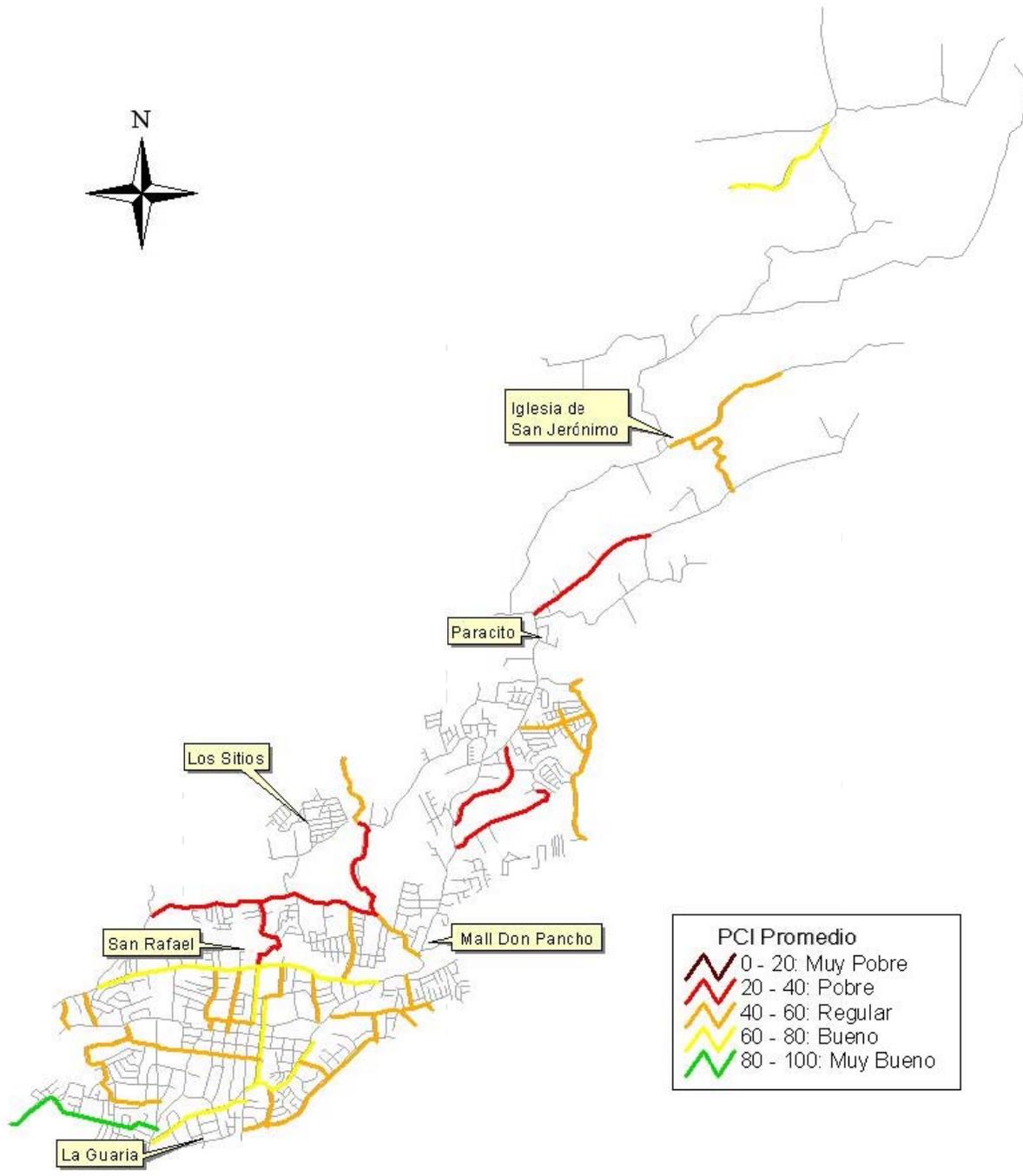


Figura 34. Categorías de condición para el PCI promedio para cada TH

Tabla 13. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de PCI promedio, sobre la red vial cantonal de Moravia evaluada.

Condición	Cantidad de Tramos	Longitud (m)
Muy Pobre	0	0,0
Pobre	8	6926,7
Regular	30	15628,0
Bueno	8	6411,8
Muy Bueno	1	1404,5
Total	47	30370,9

Al analizar la tabla anterior y las Figuras 35 y 36 es posible identificar que la condición regular es la condición predominante en las rutas analizadas, alcanzando poco más de la mitad de los kilómetros evaluados. Por otro lado un 26% presenta buenas condiciones de PCI (Muy Bueno y Bueno) y el restante 23% son tramos que presentan una condición pobre (PCI inferior a 40).

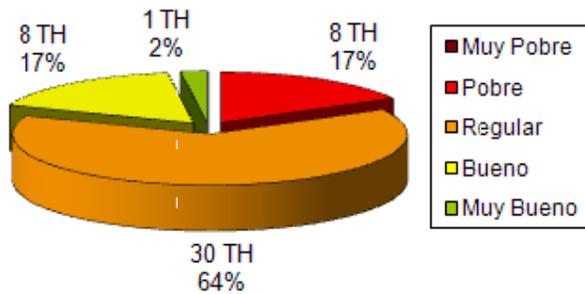


Figura 35. Cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de PCI promedio.

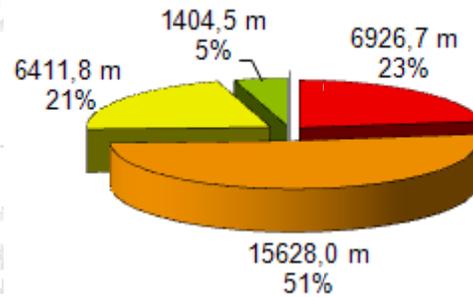


Figura 36. Cantidad de metros lineales asociados a diferentes rangos de PCI promedio.

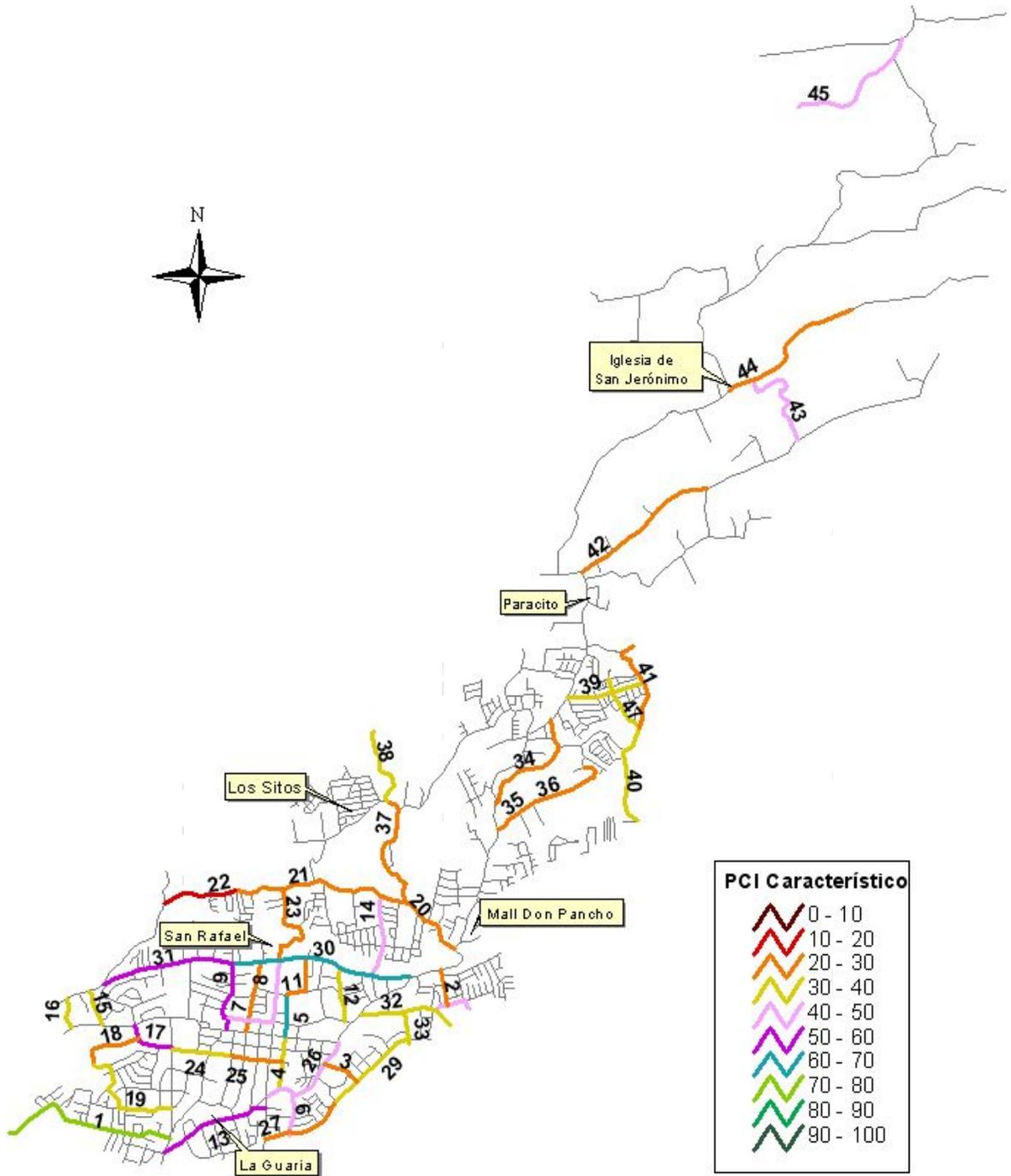


Figura 37. Rango de PCI característico para los tramos homogéneos

Red Evaluada en el mes de enero, 2009.

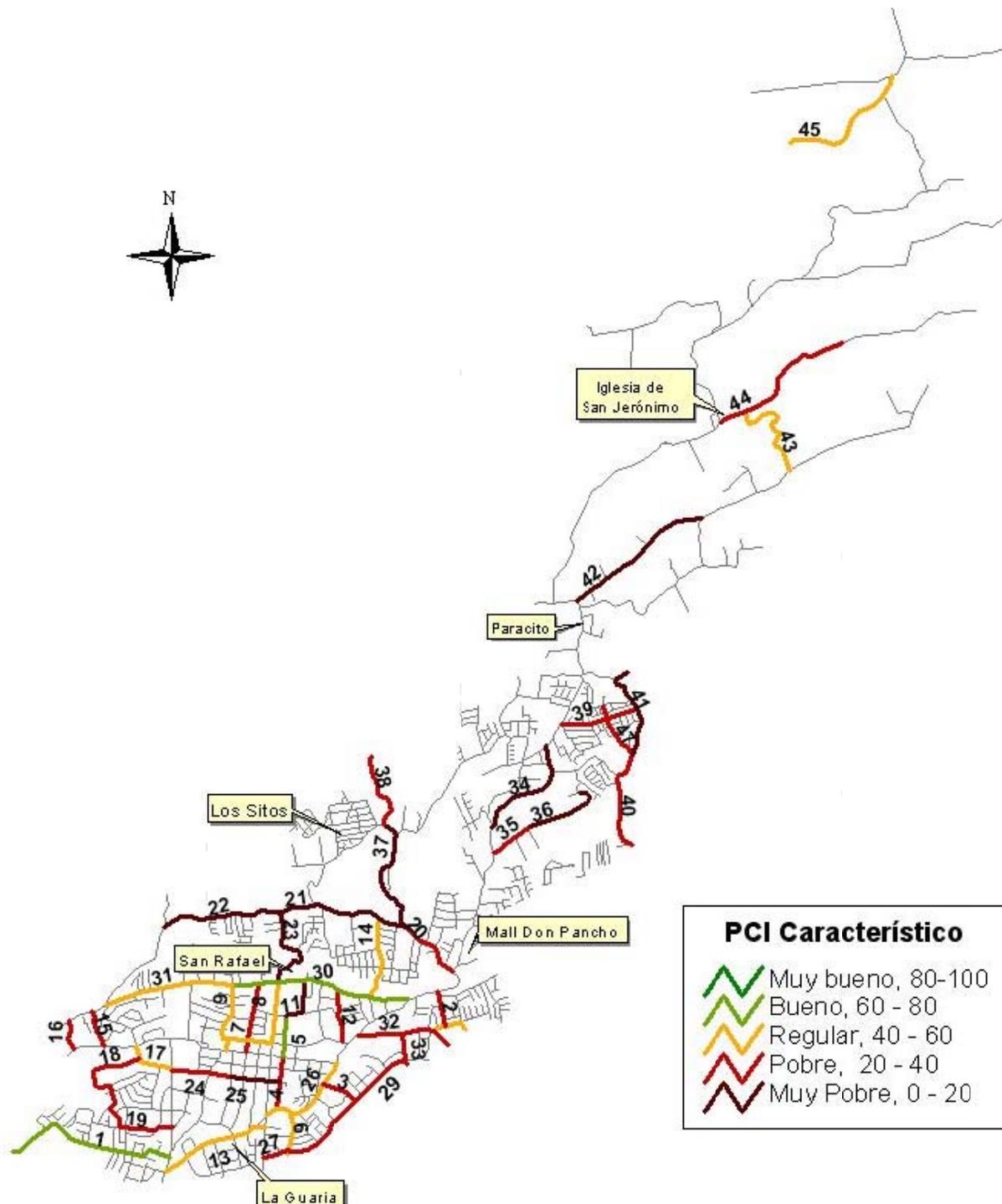


Figura 38. Categorías de condición para el PCI característico para cada TH

Red Evaluada en el mes de enero, 2009.

El clasificar los rangos de PCI para establecer el estado en el que se encuentra la vía, incorporando tanto el aspecto estructural como el superficial, permite determinar el estado general en el que se encuentra los diferentes tramos y poder establecer el tipo de intervención que se requiere según las ventanas de operación utilizadas.

En las siguientes figuras se sintetizan los resultados obtenidos por medio de gráficos, en donde se observa claramente el estado de las vías de manera porcentual.

Tabla 14. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de PCI característico, sobre la red vial cantonal de Moravia evaluada.

Condición	Cantidad de Tramos	Longitud (m)
Bueno	3	3130,3
Regular	12	7738,08
Pobre	31	18929,0
Muy Pobre	1	573,47
Total	47	30370,9

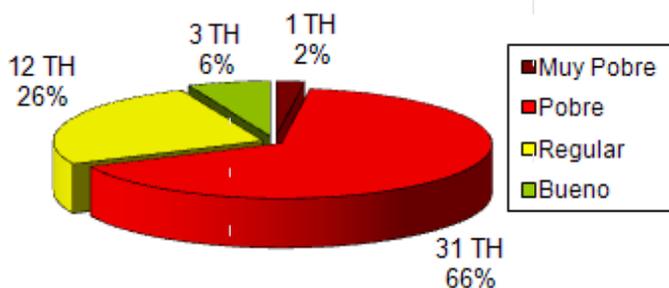


Figura 39. Cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de PCI característico.

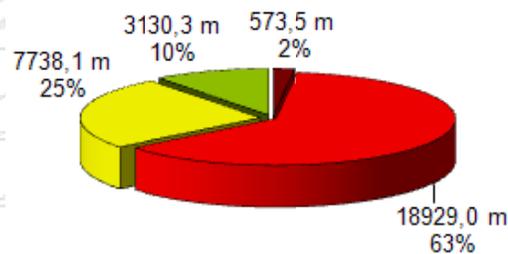


Figura 40. Cantidad de metros lineales asociados a diferentes rangos de PCI característico.

De la figura anterior se destaca que la condición pobre predomina sobre la RVC analizada, ya que las vías en condición pobre superan el 60% de los kilómetros evaluados, seguido de las vías en condición regular las cuales superan el 25%, lo que representa 7 738 m. No obstante, es importante destacar que un pequeño porcentaje de la red 2% correspondiente a



el tramo 22 sobre la Calle La Isla tiene una condición muy pobre, mientras que un 10% de la red se encuentra en buenas condiciones, todas ellas en el distrito de San Vicente: tramo este de la Calle La Carreta, Calle de Las Artesanías y Chileperro.

En la siguiente tabla se muestra a manera resumen los datos asociados a cada tramo homogéneo, tales como la longitud, valores de IRI y FWD asociados, además de los índices de condición: SAI, PRI y PCI.

Tabla 15. Resumen de los datos asociados a cada tramo homogéneo (TH) en estudio.

N° T H	UBICACION	Long. (m)	Deflexión (FWD)			IRI			Índices de Condición		
			Prom.	Desv	Caract	Prom	Desv	Caract	PRI	SAI	PCI
1	Chileperro	1404,4	44,9	17,7	59,7	3,7	1,7	5,1	76,3	87,6	71,7
2	Calle Jardines	281,86	137,3	46,9	176,8	11,8	2,9	14,3	45,8	41,4	29,5
3	La Flor	298,51	112,0	43,1	148,2	8,7	3,1	11,3	39,0	59,1	28,0
4	La Artesanía	399,58	91,3	26,3	113,4	4,3	1,1	5,2	60,6	84,3	39,5
5	La Artesanía	322,51	78,9	22,6	97,9	4,2	1,7	5,7	66,3	84,6	62,8
6	Prol. La Artesanía	314,54	79,9	36,5	110,6	8,0	1,4	9,1	44,5	63,4	45,2
7	Boulevard	545,87	145,8	34,1	174,5	11,9	3,1	14,6	38,0	40,9	25,0
8	El Estadio	477,84	113,3	67,1	169,7	7,6	1,7	9,0	59,2	65,6	48,3
9	Norte BN	574,14	67,0	32,3	94,1	6,9	1,7	8,3	56,0	69,7	50,1
10	El Roble	347,62	75,2	16,4	89,0	10,8	3,2	13,4	77,4	47,4	44,6
11	Las Américas	398,89	108,7	26,8	131,2	13,2	4,3	16,8	44,3	33,4	24,4
12	Urb. Mi Casa	423,39	153,7	24,8	174,5	10,3	3,0	12,8	58,7	50,0	39,3
13	La Guaria	880,56	72,2	25,4	93,5	4,6	2,1	6,4	60,5	82,4	57,5
14	Barro de Olla	633,74	94,9	31,3	121,3	7,5	3,2	10,2	41,0	65,8	46,7
15	Linda Vista	285,38	138,6	30,6	164,3	11,6	1,2	12,6	44,3	42,9	30,6
16	Tibás-Moravia	245,17	110,1	22,7	129,2	9,6	2,1	11,3	45,9	54,2	39,9
17	Antiguo Lincoln	367,52	107,2	21,5	125,3	4,9	2,7	7,2	46,1	80,6	51,3
18	Colegios Sur 2	487,40	110,5	31,7	137,1	7,9	3,8	11,0	18,7	64,0	26,9
19	Colegios Sur 2	921,81	129,1	31,2	155,3	7,9	3,8	11,0	29,0	64,0	31,5
20	La Isla	531,02	146,0	47,3	185,8	12,4	2,3	14,3	46,7	38,2	27,7
21	La Isla	1406,1	102,5	28,2	126,2	13,1	2,4	15,1	38,0	34,3	21,7
22	La Isla	573,47	105,9	48,2	146,4	13,3	4,0	16,5	32,3	33,2	13,7



23	La Isla-San Rafael	806,30	140,6	39,7	173,9	13,4	2,6	15,6	37,2	32,4	21,8
24	Norte Saint Francis	470,14	140,3	25,4	161,7	11,2	1,6	12,5	48,5	45,1	38,7
25	Norte Saint Francis	387,88	185,4	59,5	235,4	13,8	3,4	16,7	51,2	30,0	22,9
26	El Rastro	817,42	52,8	36,1	83,2	7,9	4,6	11,8	69,8	63,6	49,3
27	Guadalupe-Moravia	679,40	116,3	35,1	145,8	14,0	4,0	17,4	54,5	29,3	25,7
28	Guadalupe-Moravia	364,90	101,6	42,2	137,1	11,0	4,0	13,7	63,5	47,9	39,4
29	Guadalupe-Moravia	372,65	114,0	24,0	134,1	12,0	3,0	14,7	54,2	38,8	36,6
30	La Carreta	1403,3	85,5	35,9	115,6	4,2	1,8	5,7	59,0	84,9	60,4
31	La Carreta	1017,0	69,8	29,7	94,7	5,6	3,6	8,6	60,5	77,0	51,0
32	La Esmeregilda	750,39	127,2	44,7	164,8	12,8	2,5	15,0	58,2	35,7	34,0
33	Blocarenas	239,76	116,8	25,3	138,1	13,6	2,2	15,4	54,0	31,4	34,9
34	La Huesera	921,47	115,7	34,3	144,5	10,8	2,7	13,1	24,7	47,4	22,3
35	El Moral	365,49	125,1	50,3	167,4	12,9	1,4	14,1	39,7	35,2	26,3
36	El Moral	647,33	178,4	50,5	220,8	10,3	2,9	12,7	27,0	50,4	23,7
37	Los Sitios	1010,4	98,3	25,9	120,1	12,5	4,1	15,9	32,9	37,5	20,9
38	Los Sitios	631,48	127,5	35,9	157,7	10,3	3,7	13,4	42,0	50,0	30,3
39	La Fabiola	607,66	117,1	25,6	138,6	12,0	5,2	16,3	56,5	40,7	30,9
40	La Trinidad-Dulce	805,23	121,5	38,2	153,6	9,3	3,6	12,3	46,2	55,9	36,2
41	La Trinidad-Dulce	790,18	110,5	45,2	148,6	11,1	4,6	15,0	34,7	45,4	21,6
42	Platanares	1196,0	141,1	49,4	182,6	14,0	2,1	15,8	49,0	29,2	20,4
43	Nueva	897,00	136,0	47,5	176,0	7,3	2,7	9,6	48,9	67,0	43,1
44	La Torre	1199,8	160,4	45,6	198,7	9,7	4,8	13,8	47,5	53,3	25,7
45	Yerabuena	1093,4	124,8	35,8	154,9	6,3	3,3	9,1	40,0	72,7	41,8
46	Jardines 2	317,19	106,1	46,44	143,2	8,9	1,7	10,3	61,5	58,4	43,8
47	La Fabiola 2	457,39	109,2	50,7	151,8	8,4	4,0	11,8	42,9	60,8	36,7

Prom.: Promedio

Desv.: Desviación Estándar

Caract.: Característico



3. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS

3.1 Curvas de Deterioro

Para realizar el análisis del cambio del estado actual de la red vial cantonal con respecto al paso del tiempo es necesario usar curvas de deterioro del pavimento. Se utilizaron las curvas generadas para Costa Rica por Luis Amador y Donath Mrawira en la Universidad de New Brunswick Canadá (2008).

Las curvas se basan en la información de deflectometría y medición de la rugosidad de la evaluación de la red vial nacional realizada por el LanammeUCR en los años 2004 y 2006. Las curvas fueron obtenidas por medio de la aplicación de un modelo estocástico. Estas consideran la cantidad de ejes equivalentes para establecer el tipo de tránsito: bajo (menor que 12,8 millones de ESALs) y medio (superior a los 12,8 millones de ESALs).

Para utilizar el modelo es necesario conocer el TPDA equivalente a los ESAL que establecen las curvas, utilizando las ecuaciones que se muestran a continuación:

$$ESAL_{dia} = \%tipodevehículo * TPDA * FC$$

$$ESAL_{diseño} = ESAL_{dis} * 365 * GF * DS * LDF$$

$$GF = \frac{|(1+r)^y - 1|}{r}$$

Donde:

ESAL: Ejes equivalentes.

FC: Factor Camión.

GF: Factor de crecimiento vehicular.

DS: Porcentaje de vehículos por carril.

LDF: Factor de distribución por carril.

r: Razón de crecimiento.

y: Cantidad de años

Para determinar los $ESAL_{día}$ es necesario recalculer los factores camión basados en los generados por el LanammeUCR, debido a que el tránsito vehicular sobre la red vial municipal se obtiene utilizando los contadores electrónicos con un esquema de clasificación vehicular previamente determinado y diferente a la clasificación general utilizada en Costa Rica.

Para poder aplicar estos factores camión es necesario conocer el porcentaje de vehículos asociados a cada tipo, datos que se obtienen a partir de la medición del tránsito vehicular sobre la red vial cantonal de Moravia.

Utilizando valores críticos de LDF (igual a 1), D_s (con la misma distribución direccional en ambas direcciones, $D_s=0.7$), un porcentaje de crecimiento igual al 4% y un periodo de 20 años se obtiene el valor del TPDA, específico para la red de Moravia, asociado a cada cantidad de ESALs, valor que se obtiene a partir de los conteos realizados sobre la red.

Con la curva de deterioro es posible establecer una relación entre la edad del pavimento y el índice de condición del mismo, esta es una herramienta que determina la edad del pavimento de manera aproximada cuando no se cuenta con información directa acerca de este activo.

La curva está definida por tramos lineales y es aplicable para una cantidad de ejes equivalentes inferior a 12 800 000, las ecuaciones que describen la curva están en términos de PCI y se describen a continuación:

Tabla 16. Ecuaciones de la edad de pavimento para caminos de bajo tránsito.

Rango de PCI	Ecuación
0-42	$Edad = \frac{PCI - 167.91}{-6.196}$
42-100	$Edad = \frac{PCI - 101.11}{-2.887}$

(Fuente: Amador, 2008).

Es importante mencionar que entre los supuestos para aplicar el modelo utilizado se tiene que un tramo pasa a tener una edad de 4 años al aplicar un tratamiento de preservación o rehabilitación del pavimento, mientras que al intervenir una vía aplicando la reconstrucción el

pavimento regresa a una edad igual a cero. Cabe destacar que esto aplica únicamente cuando el tratamiento aplicado, tanto de preservación como de rehabilitación, es el indicado según la condición en la que se encuentra la vía, lo cual se determina mediante el uso de las ventanas de operación descritas a continuación.

3.2 Ventanas de Operación

Es importante determinar un modelo para establecer el tipo de intervención adecuada (preservación, rehabilitación o reconstrucción) asociada a rangos de índice de condición (PCI) que presenta cada tramo.

Los rangos utilizados para determinar las ventanas de operación son una adaptación de las establecidas por el departamento de transportes de New Brunswick, los cuales se muestran en la Figura 12.

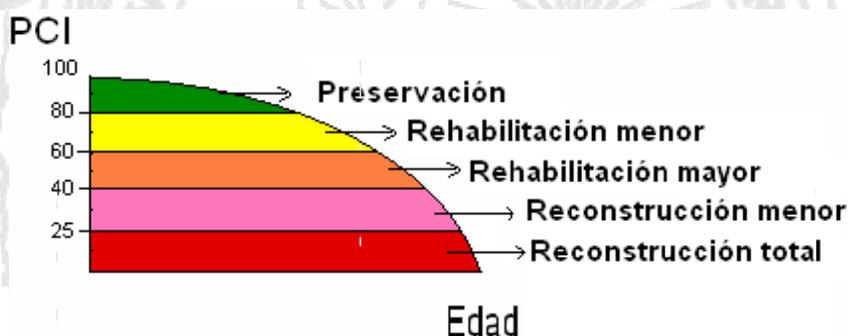


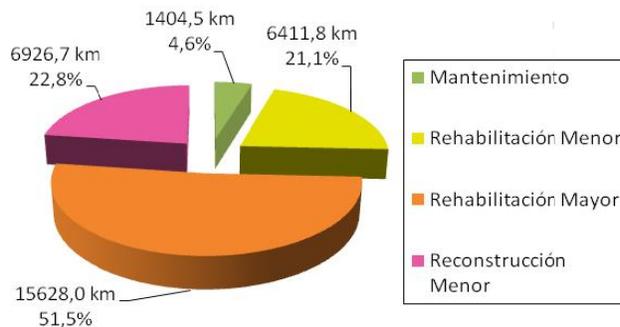
Figura 41. Ventanas de Operación (Fuente: NBDOT, 2005).

De acuerdo con los valores de PCI presentadas en la Tabla 15, donde se resumen las características generales de cada tramo homogéneo, así como las curvas de operación mostrada en la Figura 41 se puede determinar, de manera general, el tipo de intervención que requieren los diferentes tramos, considerando la condición superficial y estructural actual. En la Figura 43 se observa de manera gráfica el tipo de intervención requerida para los diferentes tramos homogéneos analizados para el cantón de Moravia, para el momento en que se realizaron las evaluaciones.

Los tipos de intervención hacen referencia, a nivel general, al tipo de tratamiento que requiere cada tramo homogéneo los cuales se mencionan a continuación:

- **Preservación:** aplicación de algún tipo de tratamiento superficial o sobrecapa no estructural, adecuada para tramos en buena condición.
- **Rehabilitación:** aplicación de capas asfálticas sobre el pavimento existente. Es necesario realizar un diseño de la rehabilitación, como el método de la AASHTO 93, para determinar el espesor necesario, López (2009) utiliza un $SN_{\text{existente}}=3$ para tramos que requieran rehabilitación mayor y un $SN_{\text{existente}}=4$ para rehabilitación menor. Adecuado para tramos en condición regular, al no mejorar considerablemente la capacidad estructural del pavimento.
- **Reconstrucción parcial o menor:** consiste en una reconstrucción de la capa de base y la carpeta asfáltica, por lo que se da un importante aporte estructural al pavimento. Este tipo de tratamiento se aplica a tramos en malas condiciones.
- **Reconstrucción Total:** toda la estructura del pavimento es reemplazada por una nueva, incluyendo todas las capas granulares y la carpeta asfáltica. Este tipo de intervención se aplica cuando la estructura del pavimento presenta muy malas condiciones.

Al analizar los datos de PCI calculados para las principales rutas de la red vial cantonal de Moravia es posible identificar que poco menos de tres cuartas partes de los kilómetros analizados requieren de una rehabilitación (aproximadamente 22 km), 1,4 km requiere



mantenimiento (Calle Chileperro) y un 22,8% requiere una reconstrucción menor: en los tramos 21,22, 23, 34, 35, 36 y 37. (Ver Figuras 42 y 43). Es importante destacar que, bajo las condiciones actuales no hay tramos que requieran una reconstrucción total.

Figura 42. Cantidad de kilómetros asociados a los diferentes tipos de intervenciones

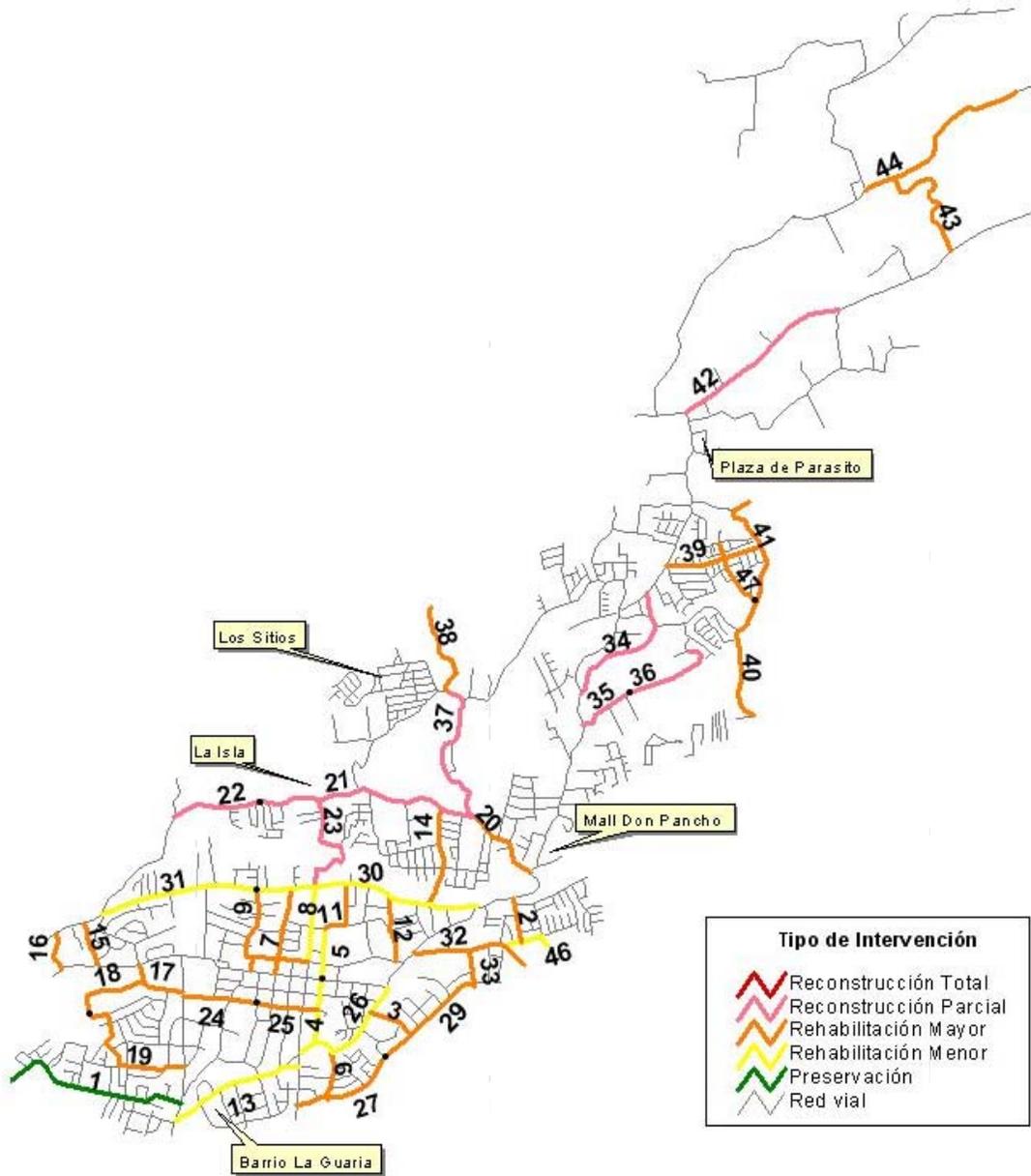


Figura 43. Tipo de intervención necesaria para cada tramo homogéneo según la condición actual.



3.3 Diseño y Costos de los Tratamientos

Como se mencionó anteriormente se consideraran diferentes tipos de intervenciones según el estado actual en el que se encuentre cada uno de los tramos analizados:

- Preservación.
- Rehabilitación menor.
- Rehabilitación mayor.
- Reconstrucción menor.

Para diseñar las diferentes intervenciones es necesario realizar retro cálculo de los módulos resilientes de los materiales que conforman la estructura actual del pavimento. El retrocálculo se realiza considerando datos de deflectometría y utilizando los espesores de las diferentes capas, información generada a partir de los sondeos. El objetivo de realizarlo es estimar el valor del módulo para cada una de las capas que componen la estructura, utilizarlo como dato al diseñar las diferentes intervenciones que requieran los tramos, ya que se requiere realizar el diseño para diferentes estructuras “tipo” de la red vial cantonal de Moravia.

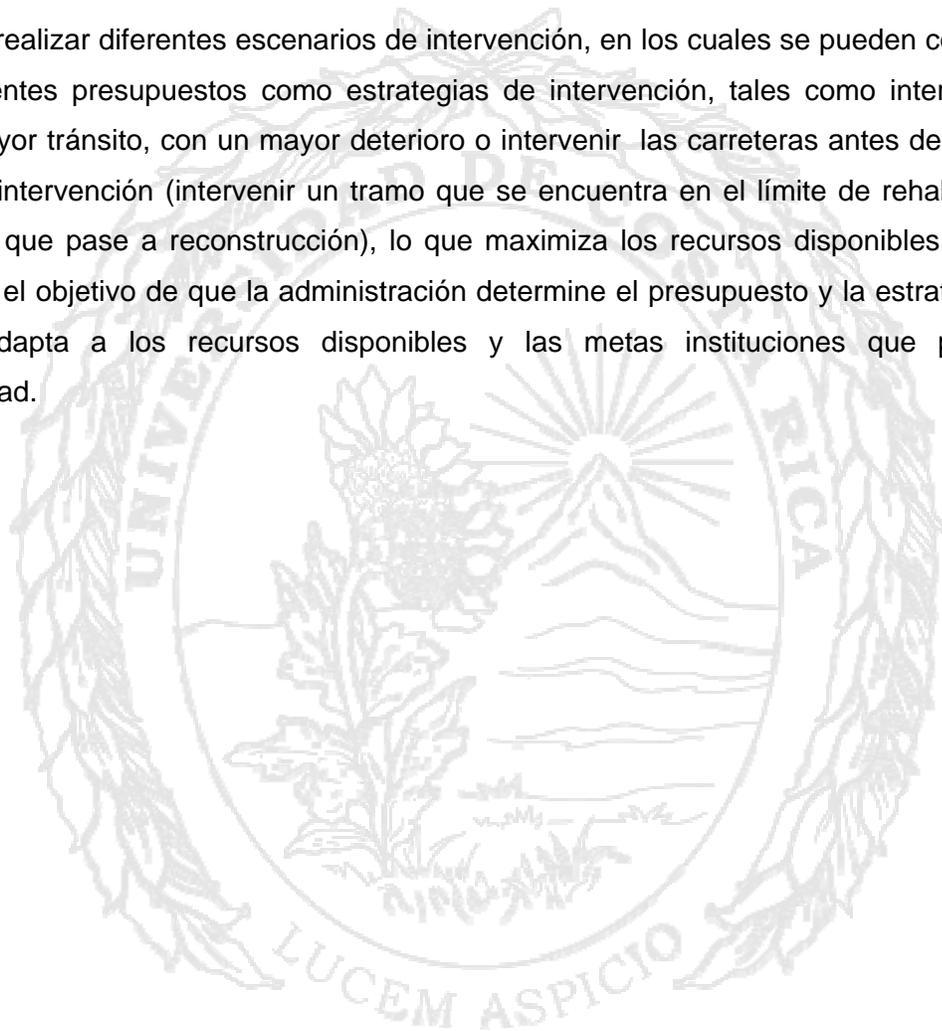
Los costos se obtienen realizando una investigación del costo que representa para la municipalidad aplicar cada uno de las intervenciones. Los costos totales de cada intervención se estiman al determinar los costos totales de intervenciones realizadas con anterioridad, ya sea por administración o por contrato. Si la municipalidad no cuenta con registros de costos suficientes para determinar la inversión necesaria para cada tipo de intervención, entonces podrá considerar costos de intervenciones realizadas sobre vías nacionales, por medio de investigación de licitaciones realizadas por el estado: CONAVI y MOPT. La investigación interna de costos y ajuste de los mismos al año actual debe realizarse como parte de las labores con las que el municipio debe apoyar para el avance del desarrollo del plan quinquenal.



3.4 Escenarios de inversión

Una vez que se cuente con la información actualizada de los costos según el tipo de intervención, es necesario que la municipalidad defina el presupuesto que se va a intervenir en carreteras durante los próximos 5 años, así como las políticas que se pretenden aplicar para priorizar las rutas o tramos homogéneos que se pretenden intervenir, los cuales se incorporarán al plan quinquenal del gobierno local.

Es posible realizar diferentes escenarios de intervención, en los cuales se pueden considerar tanto diferentes presupuestos como estrategias de intervención, tales como intervenir las vías de mayor tránsito, con un mayor deterioro o intervenir las carreteras antes de cambien de tipo de intervención (intervenir un tramo que se encuentra en el límite de rehabilitación, para evitar que pase a reconstrucción), lo que maximiza los recursos disponibles. Esto se realiza con el objetivo de que la administración determine el presupuesto y la estrategia que más se adapta a los recursos disponibles y las metas instituciones que posee la municipalidad.





4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

La condición estructural, en las vías analizadas, presenta deficiencias importantes, cerca de 15 km del total de 30 km evaluados poseen deflexiones altas, lo que implica que la estructura del pavimento no posee la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas a la que se encuentra expuesta.

En cuanto a la capacidad funcional de la red, se tiene que más del 55% de la red tiene un IRI superior a 10 m/km, lo que implica una irregularidad superficial muy alta, lo que implica costos de operación (desgaste de llantas, combustible, etc.) elevados para los usuarios y mayores tiempos de viaje, además de que la irregularidad en una superficie provoca un desgaste acelerado en la estructura al generarse un impacto dinámico de las llantas de los vehículos sobre la superficie asfáltica.

Se generaron 47 tramos homogéneos, los cuales tienen como objetivo definir unidades discretas para facilitar la gestión municipal en cuanto al mantenimiento y mejoramiento de la red. Cada uno de los tramos requiere de un tipo de intervención particular a lo largo de toda su longitud.

Entre los resultados más relevantes del análisis de la red vial cantonal de Moravia, se obtiene que más de la mitad de los kilómetros evaluados requieren una rehabilitación mayor, lo que representa una sobrecapa estructural asfáltica que proporciones el soporte requerido. Por otro lado únicamente uno de los tramos, llamada calle "Chileperro", requiere preservación como estrategia de mantenimiento y el 22,3% de los kilómetros evaluados (aproximadamente 6930 m) requieren de una reconstrucción parcial.

Es importante recalcar que los diferentes tipos de intervenciones sugeridas en este informe son generales y se enfocan en un nivel de análisis estratégico, por lo que pueden ser utilizadas como una herramienta de gestión por el municipio, sin embargo, es necesario realizar un diseño específico que considere los diferentes parámetros requeridos para un diseño a nivel de proyecto antes de la planeación y la ejecución de la obra.



Además las recomendaciones de intervención se establecen basadas en la condición actuales del pavimento a la hora de correr los ensayos de laboratorio de campo, y se proponen como soluciones óptimas generales de cada tramo homogéneo, es decir, si un tramo homogéneo requiere reconstrucción y se aplica un bacheo o una rehabilitación se solucionará el problema temporalmente, sin embargo, a corto o mediano plazo presentará deficiencias, por lo que no se estarían optimizando los recursos disponibles.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda al municipio generar un plan de inversiones a mediano plazo, plan quinquenal, en donde se definan los tramos homogéneos que se intervendrán cada año, el cual se base en el presupuesto disponible, los tipos de intervención sugeridos y los costos de ejecución del municipio (ver sección 3.3 de este informe). Así mismo, se recomienda intervenir tramos que se encuentren con un PCI cercano al límite inferior de los rangos de condición, para evitar tener que hacer mayores intervenciones a un corto plazo: por ejemplo atender tramos que se encuentren con PCI cercano a 40 (del 41 al 45) que califiquen para una rehabilitación mayor, con esto evitar que pasen a tener un PCI menor que 40 donde lo que se requeriría es una reconstrucción menor.

Es necesario que el municipio un diagnóstico interno de la organización, funciones desempeñadas y las responsabilidades de los diferentes miembros de la Unidad Técnica de Gestión Municipal, con el objetivo de identificar los aspectos que se requieren fortalecer, para realizar una gestión más eficiente y eficaz del mantenimiento y mejora de la red vial cantonal que administra.

Antes de definir un plan quinquenal es adecuado que institucionalmente se definan las metas a alcanzar y las políticas que se ejecutaran, las cuales deberían estar basadas en el diagnóstico de la condición actual presentadas en el Informe LM-PI-PM-04-09 y el presente informe, de manera que se encuentren acordes a la realidad de la red en cuestión y los recursos disponibles.



5. REFERENCIAS

- Amador, Luis; Mrawira Donath. (Enero 2008) Performance Modeling for Asset Management: What to when you only have two data points; University of New Brunswick.
- Badilla V., G. "Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) " Infraestructura Vial, N°21 (Febrero 2009).
- Hass, R.; Hudson, W.R.; Zaniewski, J. (1993). Modern Pavement Management. R.E. Krieger Publishing Company, Florida.
- Informe LM-PI-PM-04-09, Informe de Avance: Desarrollo de un sistema para la conservación vial en la municipalidad de Moravia. Proyecto Municipal, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José, Costa Rica. Agosto, 2009.
- López Ramírez, Sharline. Sistema piloto de administración de pavimentos en la Municipalidad de Moravia, Heredia. Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, Costa Rica. Febrero, 2009.
- Proyecto N° UI-PC-03-08, Variaciones a los Rangos para la Clasificación Estructural de la Red Vial Nacional de Costa Rica. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial (UIIVI), Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José Costa Rica. Agosto, 2008.
- Solminihac H. (1998). Gestión de Infraestructura Vial; Editorial Universidad Católica de Chile, Chile.
- Wave; Department of Transportation of New Brunswick. (2005). Appendix Document, Asset Management Business Framework, New Brunswick Department of Transportation.