



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-08-2011

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE MONTES DE OCA: TRAMOS HOMOGÉNEOS

INFORME FINAL

Preparado por:
Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica
Julio, 2011

Información técnica del documento

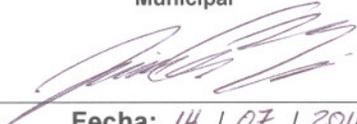
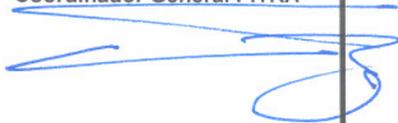
1. Informe LM-PI-GM-08-2011		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE MONTES DE OCA: TRAMOS HOMOGÉNEOS		4. Fecha del Informe: Julio, 2011
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria 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 Montes de Oca se realizó la identificación y caracterización de tramos homogéneos, esto con el objetivo de establecer secciones de las rutas que presenten condiciones similares de deterioro. En total se obtuvo 42 tramos homogéneos en un trayecto de aproximadamente 17,6 km. Estos tramos fueron analizados por diferentes metodologías basados en deflectometría e IRI (Índice de Regularidad Internacional). El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo indicó que un 69% de los tramos presentan una deflexión alta, lo que indica una condición estructural deteriorada o severamente deteriorada, por otro lado alrededor de 20% presentan una buena condición estructural. En cuanto a los valores promedio el IRI se determinó que del total de la longitud evaluada, un 61,7% presentan un IRI superior a 6,4 m/km, lo que indica una condición superficial muy irregular, afectando negativamente los costos de operación de los vehículos, así como los tiempos de viaje de los usuarios. 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 de cada uno de los tramos homogéneos según la evaluación realizada en el año 2009. 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 determinar tipos de intervenciones fundamentados en criterios técnicos.</i>		
10. Palabras clave Evaluación de carreteras, Gestión, Red vial cantonal, Montes de Oca, Tramos homogéneos	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 55
13. Preparado por: Ing. Sharline López Ramírez Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 14 / 07 / 2011	Colaboradores: Eliécer Arias Barrantes Ignacio Matamoros Elizondo Tatiana Araya Muñoz	
14. Revisado por: Ing. Jaime Allen Monge, MSc Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 14 / 07 / 2011		15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 14 / 07 / 2011



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.....	16
2.1.1 DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO.....	17
2.1.2 IRI PROMEDIO.....	22
2.2 DEFLEXIÓN E IRI CARACTERÍSTICOS.....	25
2.2.1 DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA.....	25
2.2.2 IRI CARACTERÍSTICO.....	27
2.3 INDICADORES DE CONDICIÓN.....	29
2.3.1 ÍNDICE DE CONDICIÓN ESTRUCTURAL: SAI.....	30
2.3.2 ÍNDICE DE CONDICIÓN FUNCIONAL: PRI.....	34
2.3.3 ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO: PCI.....	39
3. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS	46
3.1 CURVAS DE DETERIORO.....	46
3.2 VENTANAS DE OPERACIÓN.....	48
3.3 DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	50
3.4 ESCENARIOS DE INVERSIÓN.....	51
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
4.1 CONCLUSIONES.....	52
4.2 RECOMENDACIONES.....	53
5. REFERENCIAS.....	55



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TRAMOS HOMOGÉNEOS DE LA RVC DE MONTES DE OCA, LONGITUD Y UBICACIÓN.....	14
TABLA 2. VALORES DE IRI PARA MOSTRAR EL EFECTO DE LA DISPERSIÓN SOBRE EL PROMEDIO DE UN CONJUNTO DE DATOS.	17
TABLA 3. VOLUMEN VEHICULAR ESTIMADO A PARTIR DE DATOS DE CONTEOS MANUALES.....	19
TABLA 4. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE FWD PROMEDIO, PRINCIPALES RUTAS DE LA RED VIAL CANTONAL DE MONTES DE OCA EVALUADA.	21
TABLA 5. CANTIDAD TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE IRI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MONTES DE OCA EVALUADA.....	24
TABLA 6. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE FWD CARACTERÍSTICO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MONTES DE OCA EVALUADA.....	26
TABLA 7. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE IRI CARACTERÍSTICO, PRINCIPALES RUTAS DE LA RED VIAL CANTONAL DE MONTES DE OCA.....	28
TABLA 8. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE SAI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MONTES DE OCA EVALUADA.....	31
TABLA 9. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE SAI CARACTERÍSTICO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MONTES DE OCA EVALUADA.....	33
TABLA 10. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE PRI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MONTES DE OCA EVALUADA.....	36



TABLA 11. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE PRI CARACTERÍSTICO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MONTES DE OCA EVALUADA.....	38
TABLA 12. CATEGORIZACIÓN DE LA VÍA SEGÚN VALOR DE PCI.....	39
TABLA 13. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE PCI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL EVALUADA DE MONTES DE OCA.....	41
TABLA 14. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE PCI CARACTERÍSTICO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE MONTES DE OCA EVALUADA.....	43
TABLA 15. RESUMEN DE LOS DATOS ASOCIADOS A CADA TRAMO HOMOGÉNEO (TH) EN ESTUDIO.....	44
TABLA 16. ECUACIONES DE LA EDAD DE PAVIMENTO PARA CAMINOS DE BAJO TRÁNSITO.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS.....	10
FIGURA 2. ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL.....	12
FIGURA 3. ESQUEMA METODOLÓGICO (FUENTE: LÓPEZ, 2009).....	13
FIGURA 4. TRAMOS HOMOGÉNEOS DE LA RVC DE SAN VICENTE DE SAN JERÓNIMO.....	16
FIGURA 8. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD PROMEDIO.....	22
FIGURA 9. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO.....	22
FIGURA 10. IRI PROMEDIO DE LOS DIFERENTES TRAMOS ANALIZADOS DEL CANTÓN DE MONTES DE OCA.....	23
FIGURA 11. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.....	24
FIGURA 12. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.....	24



FIGURA 13. DEFLECTOMETRÍA CARACTERÍSTICA DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN MONTES DE OCA.	26
FIGURA 14. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD CARACTERÍSTICO.....	27
FIGURA 15. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN FWD CARACTERÍSTICO.....	27
FIGURA 16. CLASIFICACIÓN DE IRI CARACTERÍSTICO PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO,.....	28
EVALUADA EN ENERO Y FEBRERO DEL 2009.	28
FIGURA 17. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI CARACTERÍSTICO.	29
FIGURA 18. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN IRI CARACTERÍSTICO.	29
FIGURA 19. SAI PROMEDIO PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO EN ESTUDIO.....	31
FIGURA 20. GRÁFICO DE CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE SAI PROMEDIO.	32
FIGURA 21. GRÁFICO DE DE METROS LINEALES DE CARRETERA ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE SAI PROMEDIO.	32
FIGURA 23. GRÁFICO DE CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE SAI CARACTERÍSTICO.....	34
FIGURA 24. GRÁFICO DE DE METROS ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE SAI CARACTERÍSTICO.	34
FIGURA 25. PRI PROMEDIO PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO EN ESTUDIO.	35
FIGURA 26. GRÁFICO DE CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PRI PROMEDIO.	36
FIGURA 27. GRÁFICO DE CANTIDAD DE METROS ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PRI PROMEDIO.....	36
FIGURA 29. GRÁFICO DE CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PRI CARACTERÍSTICO.....	38
FIGURA 30. GRÁFICO DE CANTIDAD DE METROS ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PRI CARACTERÍSTICO.	38
FIGURA 31. RANGO DE PCI PROMEDIO PARA LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS	40



FIGURA 32. CATEGORÍAS DE CONDICIÓN PARA EL PCI PROMEDIO PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO.....	40
FIGURA 33. CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PCI PROMEDIO.....	41
FIGURA 34. CANTIDAD DE METROS LINEALES ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PCI PROMEDIO	41
FIGURA 35. RANGO DE PCI CARACTERÍSTICO PARA LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS .	42
FIGURA 36. CATEGORÍAS DE CONDICIÓN PARA EL PCI CARACTERÍSTICO PARA CADA TH.....	42
FIGURA 37. CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PCI CARACTERÍSTICO.	43
FIGURA 38. CANTIDAD DE METROS LINEALES ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PCI CARACTERÍSTICO.....	43
FIGURA 40. CANTIDAD DE KILÓMETROS ASOCIADOS A LOS DIFERENTES TIPOS DE INTERVENCIONES.....	49
FIGURA 41. TIPO DE INTERVENCIÓN NECESARIA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO SEGÚN LA CONDICIÓN ACTUAL.....	50



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 Montes de Oca, 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.

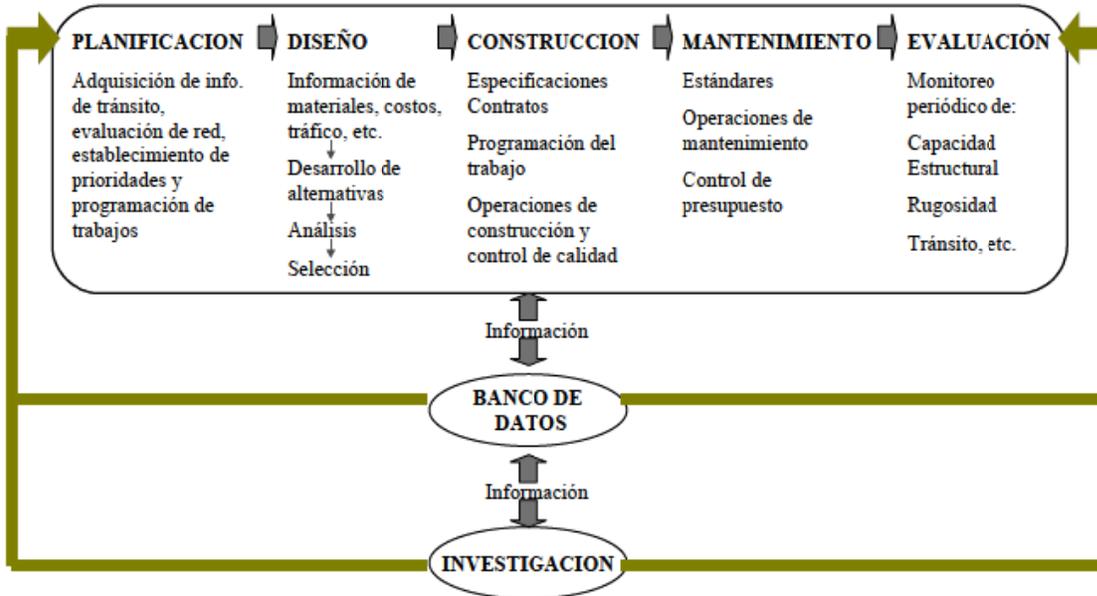


Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos (Fuente: Haas, 1993).

La gestión de pavimentos debe ser utilizable 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 flujograma para el proceso de gestión vial en el ámbito municipal.

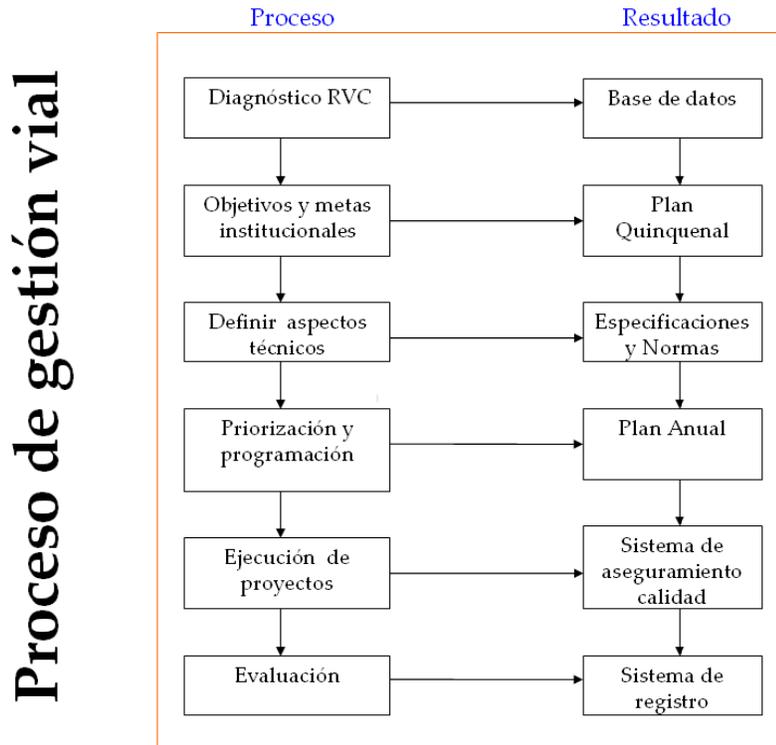


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial (Fuente: LanammeUCR, 2008).

Se elabora 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

El diagnóstico en el que se basan los resultados que se presentan en este informe son generados a partir de ensayos realizados, tanto en campo como en laboratorio, sobre las principales rutas (primarias) de la red vial cantonal de Montes de Oca.

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 febrero del 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 42 tramos homogéneos a partir de aproximadamente 18 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 Montes de Oca, longitud y ubicación.

Tramo	Distrito	Longitud (m)
1	San Rafael	568,5
2	Sabanilla	693,7
3	Sabanilla-San Pedro	706,7
4	Sabanilla-San Pedro	499,9
5	San Pedro	750,8
6	San Pedro	269,2
7	Sabanilla-San Pedro	513,5
8	San Pedro	380,9
9	Sabanilla-San Pedro	483,1
10	Sabanilla	524,6
11	San Pedro	833,1



12	Mercedes	522,8
13	Mercedes	460,0
14	Mercedes	324,3
15	Mercedes	433,2
16	Mercedes	218,2
17	Mercedes	285,7
18	San Pedro	388,2
19	San Pedro	281,9
20	San Pedro	262,4
21	San Pedro	449,6
22	San Pedro	102,0
23	San Pedro	79,9
24	San Pedro	432,2
25	San Pedro	437,7
26	San Pedro	518,7
27	San Pedro	491,9
28	San Pedro	102,0
29	San Pedro	1026,7
30	San Pedro	177,1
31	San Pedro	631,8
32	San Pedro	412,7
33	San Pedro	534,5
34	San Pedro	302,9
35	San Pedro	299,4
36	San Pedro	401,1
37	San Pedro	397,9
38	San Pedro	559,1
39	San Pedro	274,8
40	San Pedro	315,9
41	San Pedro	230,1
42	San Pedro	368,8

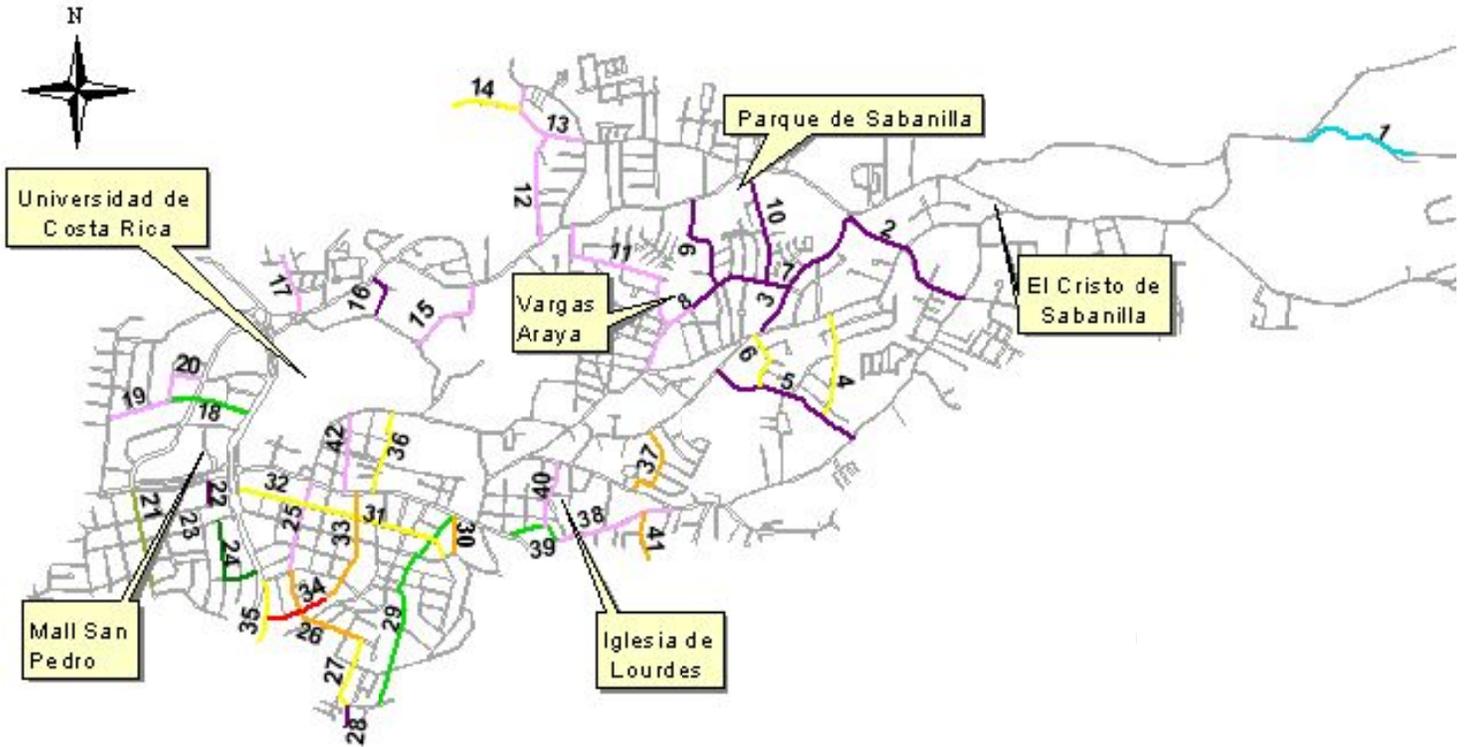


Figura 4. Tramos homogéneos de la RVC de San Vicente de San Jerónimo

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.

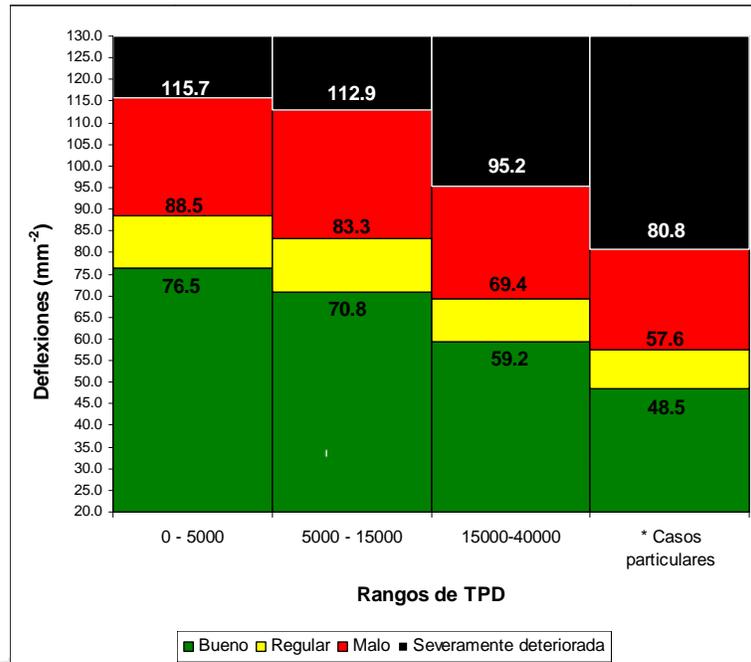


Figura 5. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base granular. Fuente: Informe N° UI-PC-03-08.

Para caracterizar los resultados de deflectometría es necesario conocer el tránsito promedio diario (TPD) que circula sobre las diferentes rutas. Se realizaron conteos manuales, por parte del personal municipal en diferentes sitios de la red vial cantonal. Los conteos fueron realizados durante un período de tiempo de entre 1,5 horas y 3 horas. Posteriormente con el uso de la metodología de factores de expansión se realizó una estimación del volumen vehicular de 24 horas. Para realizar esta estimación se realizó un análisis de conteos de 24 horas realizados en otros municipios, el objetivo es establecer una tendencia del comportamiento del volumen vehicular horario, para relacionarlos con los conteos manuales y poder estimar el volumen vehicular diario.

La información de la cantidad y tipo de vehículos contados, así como los horarios de conteo y la descripción del sitio de conteo es información suministrada por el municipio. En la Tabla 3 se muestra un resumen de los conteos manuales realizados y del tránsito promedio esperado para un período de 24 horas, además en la Figura 6 es posible observar, gráficamente, los sitios específicos en los que se realizaron los conteos.



Las rutas en las que no se realizaron conteos se extrapolan los datos de los conteos cercanos, además de tomar como base el criterio del comportamiento vehicular de la zona.

Tabla 3. Volumen vehicular estimado a partir de datos de conteos manuales.

Número de conteo	Descripción del sitio	Tipo de Ruta	Vehículos de 7:00 a.m a 8:30 a.m.	Vehículos de 12:00 p.m a 1:30 p.m.	Vehículos contados	Duración del conteo (h)	TPD _{est24h}
1	Frente a Outlet Mall o BNCR	Primaria	880	1454	2334	3,00	22585
2	Calle de Amargura (Calle 3)	Primaria	543	775	1318	3,00	10557
3	Calle del antiguo Kilotienda – Facultad de Educación	Primaria	117	287	404	3,00	3129
4	Calle derecha entre el Higuerón y la gasolinera	Primaria	1178	739	1917	3,00	15162
5	Calle entre Bo. Pinto a salir a Quiznos	Travesía	479	632	1111	3,00	8067
6	Calle Siles a salir a Palí de Lourdes	Primaria	824	-	824	1,50	12719
7	Calle 100 N Esc. Dante A. a salir a Vargas A.		927	890	1817	3,00	14465
8	Calle Collados del Este, saliendo por Fundación CR-Canadá	Primaria	345	280	625	3,00	4683
9	Calle Los Negritos frente a Bac San José	Travesía	1304	836	2140	3,00	16931
10	Calle anterior a Autos Subaru	Travesía	754	752	1506	3,00	11996
11	Calle 150m al sur de Autos Subaru	Primaria	1445	1083	2528	1,50	17172
12	Calle que pasa frente del Restaurante. Cocorico	Terciaria	309	-	309	3,00	4770
13	Calle 50 m al sur del Súper La Casita	Primaria	660	232	892	3,00	10188
14	Calle Bo. San Gerardo, 200 m NW y 50 m N del Bar Venus	Primaria	1155	203	1358	1,50	17828
15	Calle 50 m sur del abastecedor Los Ángeles	Primaria	294	-	294	3,00	4538
16	Calle principal de Bo. Dent, 50 Oeste de Taco Bell	Primaria	568	500	1068	3,00	7255
17	Calle atajo entre La Cosecha a salir al Simart	Primaria	458	523	981	1,50	7831
18	Calle de la Rotonda Betania, frente Escuela e Iglesia.	Primaria	496	-	496	3,00	7656
19	De la Farmacia de la Paulina, 50 m al este.	Primaria	695	556	1251	3,00	8498
20	Calle de la Cruz, frente Ciudad Científica.	Primaria	522	357	879	3,00	6961
21	Calle La Cartaga	Terciaria	232	357	589	3,00	4189
22	Calle Cementerio	Primaria	546	320	866	3,00	6843
23	Frente bar La Marsella	Travesía	270	222	492	1,50	3342
24	Calle La Española	Primaria	955	-	955	3,00	14741
25	Calle 50 m oeste de los Semáforos de Derecho (UCR)	Terciaria	276	193	469	3,00	3186

*TPD_{est24h}: Tránsito vehicular estimado para un período de 24 horas.

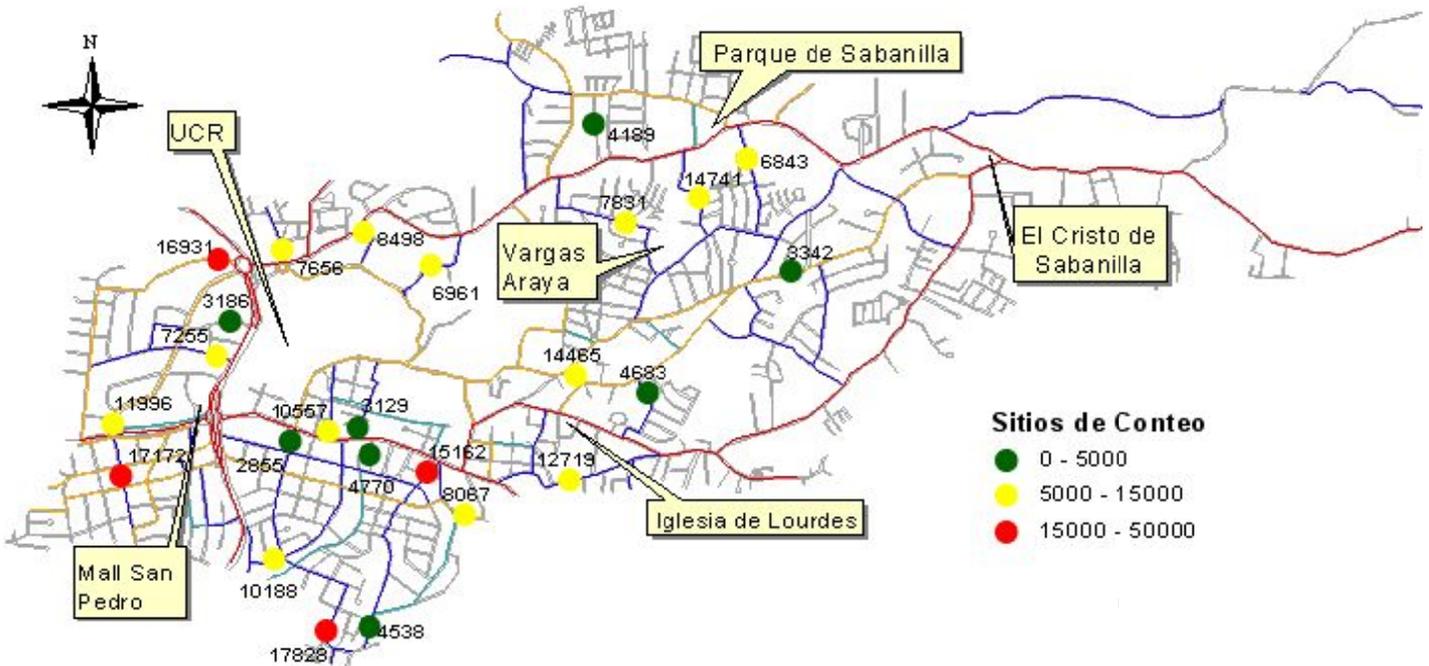


Figura 6. Sitios de conteo sobre rutas cantonales de Montes de Oca

A partir de los valores de los conteos vehiculares estimados para un periodo de 24 horas, así como el tipo de estructura (base granular o estabilizada con cemento) que posee cada ruta, se establece la caracterización, en una escala cualitativa, del valor promedio de la deflectometría para cada tramo, cuyos resultados se presentan en la siguiente figura.

U.L

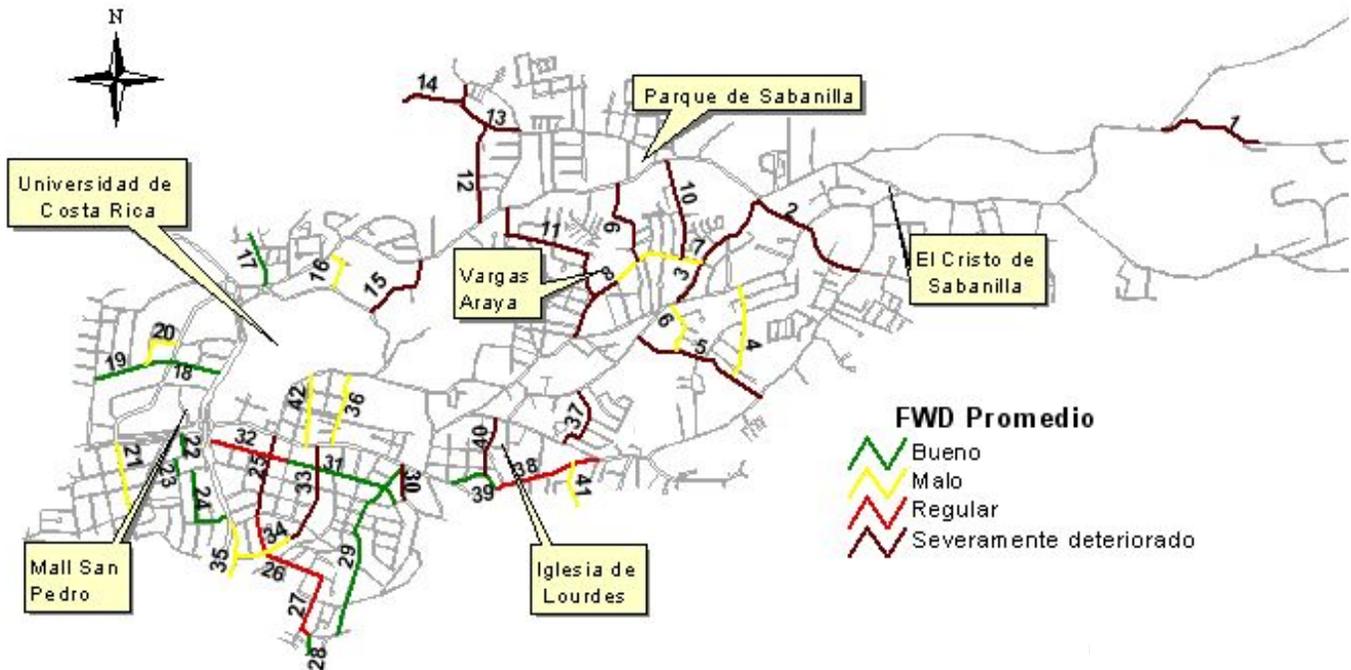


Figura 7. Deflectometría promedio de las principales rutas cantonales de Montes de Oca.

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, la información se resume en la siguiente tabla.

Tabla 4. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de FWD promedio, principales rutas de la red vial cantonal de Montes de Oca evaluada.

Condición	Cantidad de tramos	Longitud (m)	Porcentaje de longitud
Bueno	10	3605,2	20,1%
Regular	4	1982,3	11,0%
Malo	11	3815,1	21,3%
Severamente Deteriorado	17	8544,8	47,6%
TOTAL	42	17947,3	100,0%

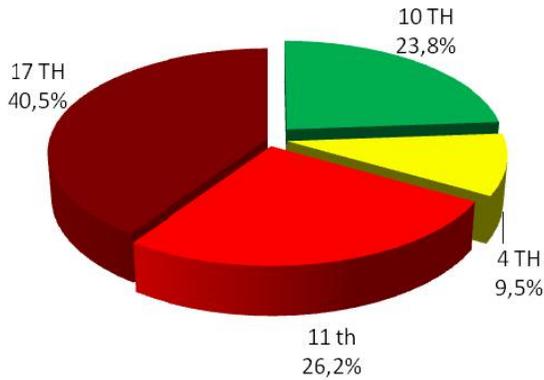


Figura 8. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el FWD promedio.

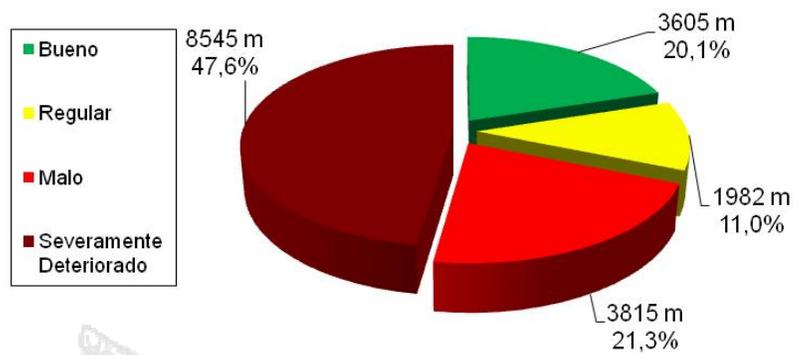


Figura 9. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según FWD promedio.

En ambas figuras es posible observar que cerca del 70% de la red analizada presenta condiciones estructurales deficientes (severamente deterioradas o mala), lo cual implica un deterioro estructural importante en las principales rutas cantonales. Además se evidencia que alrededor del 20% de la red en estudio presenta buenas condiciones estructurales, lo que representa, aproximadamente, 3605 m, mientras que únicamente el 11% de la red analizada posee condiciones estructurales regulares.

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 calculó a partir de los resultados obtenidos de las mediciones con el equipo perfilómetro inercial láser propiedad del LanammeUCR, el valor del IRI fue calculado cada 25 m sobre diferentes vías de la red cantonal de Montes de Oca, esta evaluación se realizó en enero del 2009 abarcando toda la red vial cantonal primaria con una longitud aproximada de 20 Km.

El análisis del IRI_{promedio} de cada tramo presenta resultados de deterioro importante 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.

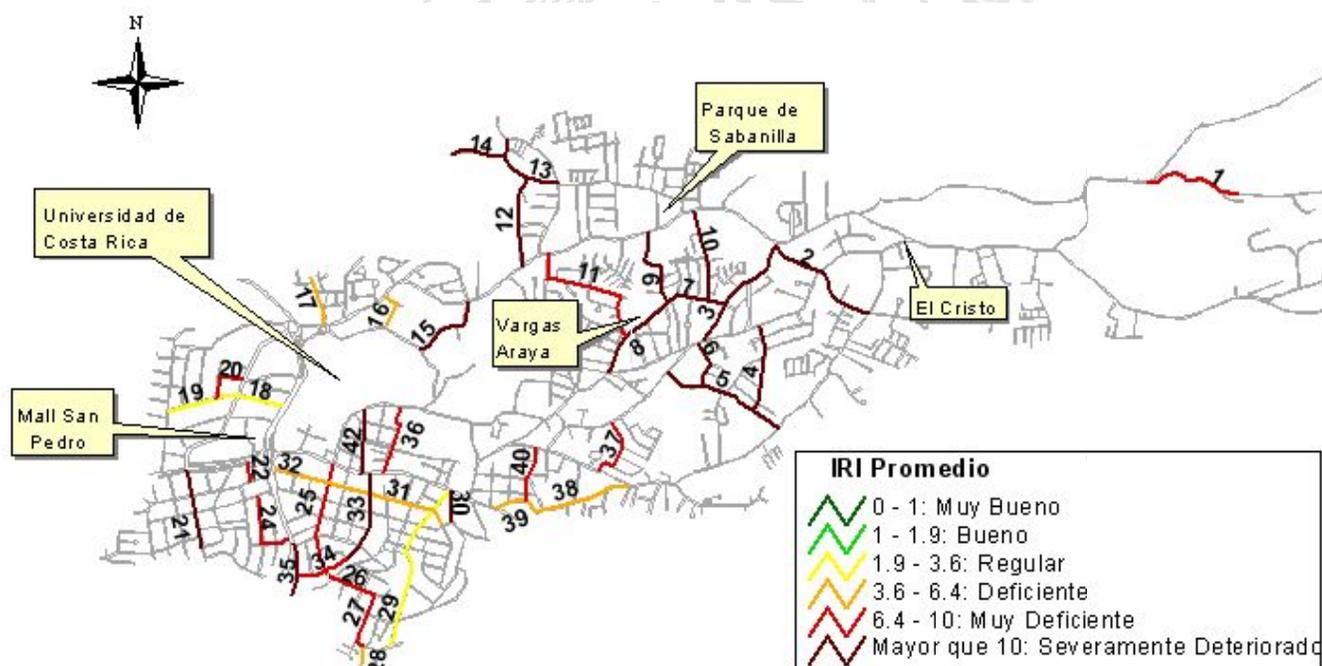


Figura 10. IRI promedio de los diferentes tramos analizados del cantón de Montes de Oca.

La distribución de la cantidad de tramos homogéneos y de los metros lineales asociados a cada categoría de IRI se muestra porcentualmente en los siguientes gráficos. De los cuales se destaca que cerca del 47% 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. Únicamente el 9,6% de los kilómetros analizadas poseen un IRI aceptable (inferior a 3,6).

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

Condición	Cantidad de Tramos homogéneos	Longitud (m)
Muy Bueno	0	0,00
Bueno	0	0,00
Regular	3	1696,82
Deficiente	7	2484,12
Muy Deficiente	12	5064,41
Severamente Deteriorado	18	8391,93
TOTAL	40	17637,28

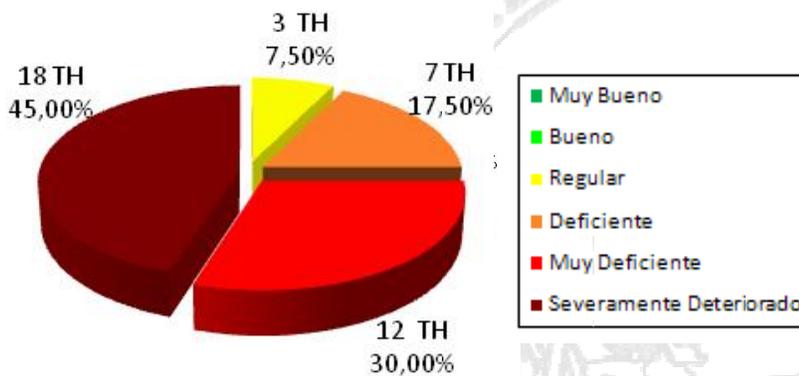


Figura 11. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el IRI promedio.

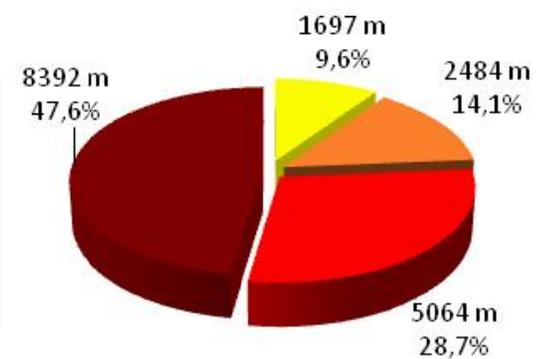


Figura 12. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según el IRI promedio.

En el mes de julio del 2010 se realizó, otra evaluación del IRI sobre rutas en las que se había realizado algún tipo de inversión (recarpeteo o bacheo) durante el 2009 y los primeros meses del año 2010, Sin embargo, en el informe LM-PI-UM-03-10, entregado al municipio el 17 de diciembre del 2010, se concluye que pese a la inversión no hay un cambio significativo en la condición superficial de las rutas en análisis.



2.2 Deflexión e IRI característicos

Se utilizó el criterio de la deflexión y el IRI característicos para describir la condición de cada tramo, 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 Montes de Oca.

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, debido 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 los tramos caracterizados por una condición estructural buena o regular se concentran en el distrito central de San Pedro, con una buena condición se encuentran los tramos 18,23,24 y 29, mientras que en condición regular se encuentran los tramos 19,28, 31 y 39, tal y como se muestra en la siguiente figura.

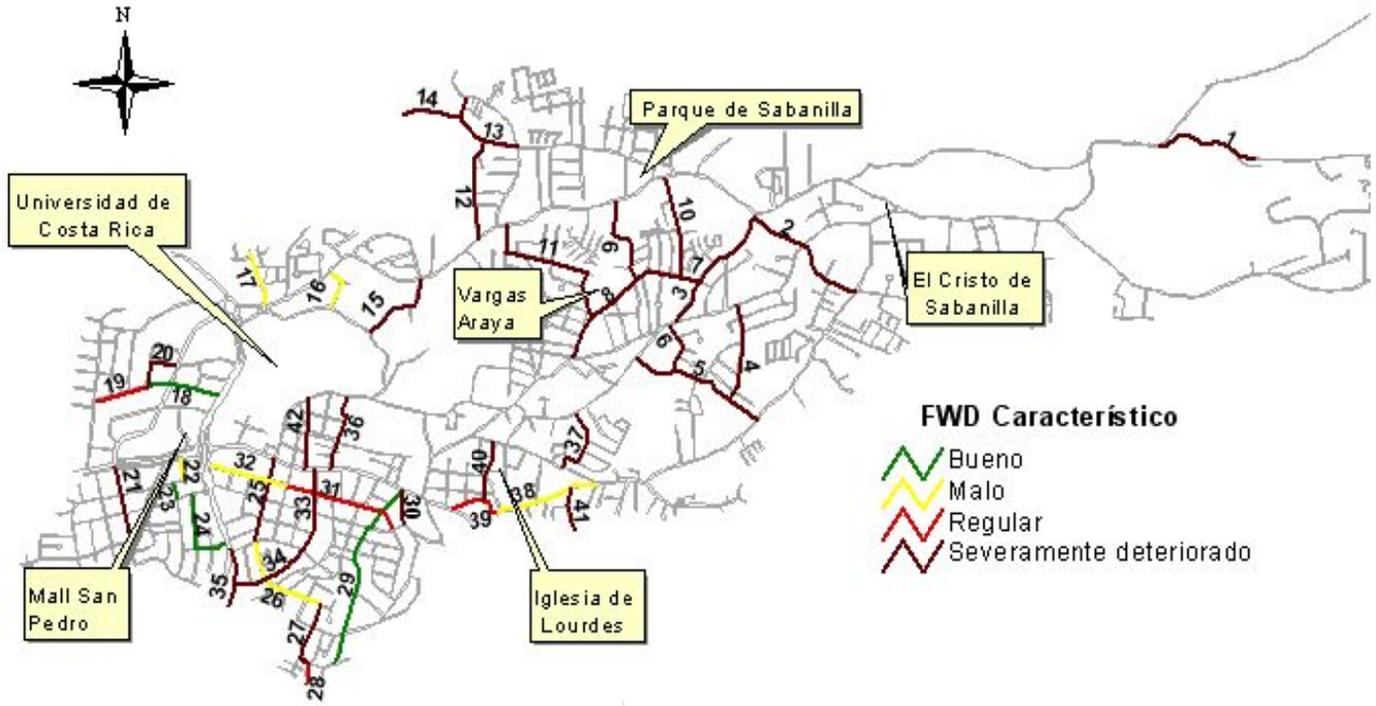


Figura 13. Deflectometría característica de los diferentes tramos homogéneos analizados en Montes de Oca.

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

Condición	Cantidad de tramos	Longitud (m)
Bueno	4	1927,0
Regular	4	1290,5
Malo	6	2096,3
Severamente deteriorado	28	12633,6
Total	42	17947,3

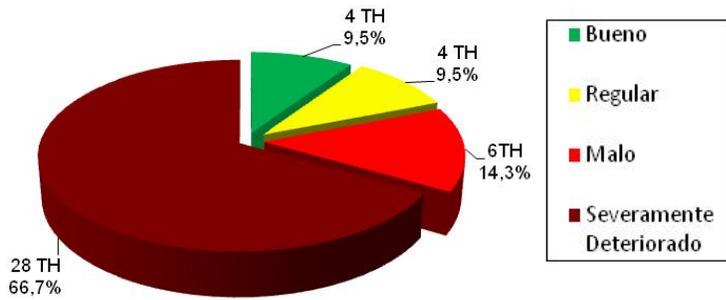


Figura 14. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el FWD característico

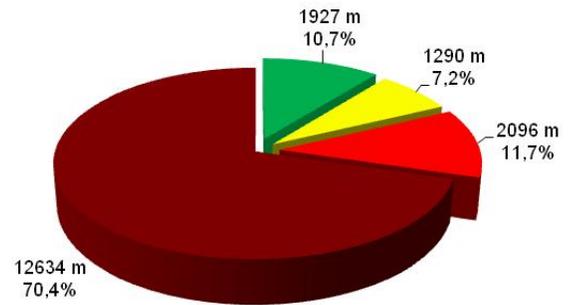


Figura 15. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según FWD característico

Al observar las figuras anteriores 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 consideran los datos de la deflectometría promedio asociada a los diferentes tramos, un 47,6% de los kilómetros analizados presentan una condición de deterioro severo, mientras que si se analiza desde el punto de vista de los datos característicos de los tramos, poco más del 70% de las rutas analizadas se califican como severamente deterioradas, aspecto que constata la dispersión de los datos que se asocia a cada tramo en estudio.

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 asociados 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.

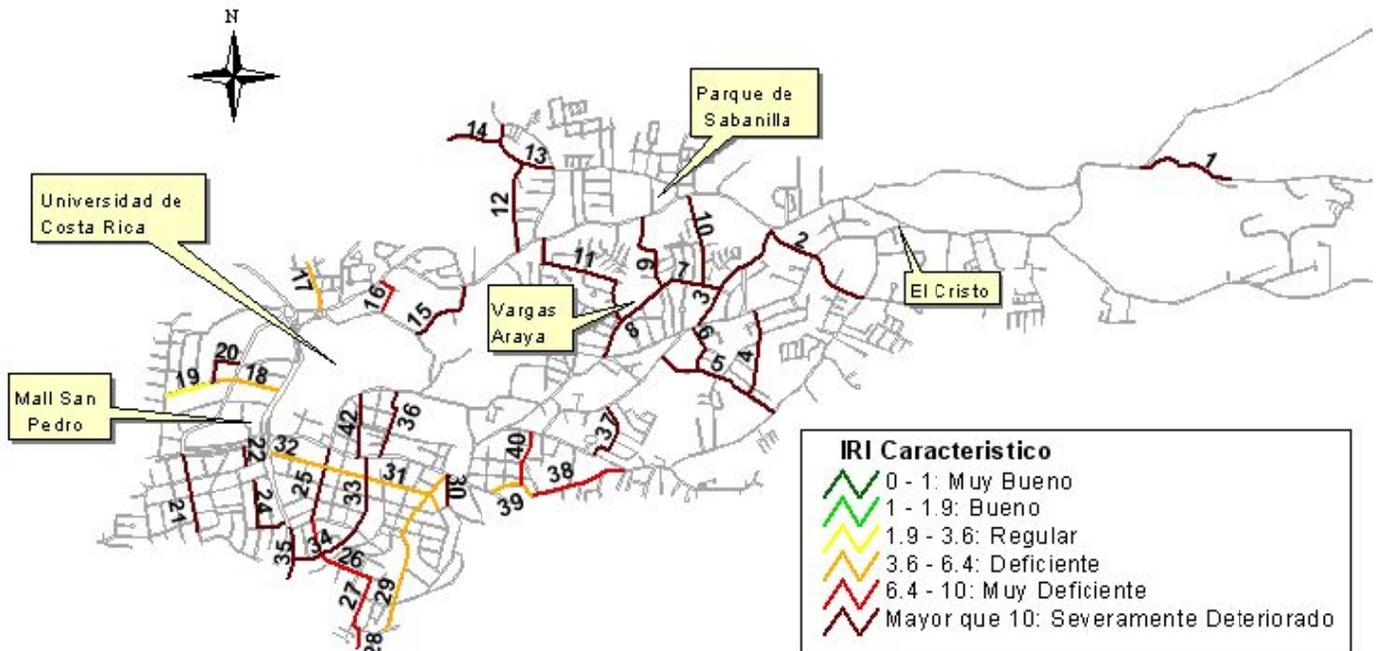


Figura 16. Clasificación de IRI característico para cada tramo homogéneo, Evaluada en enero y febrero del 2009.

Tabla 7. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de IRI característico, principales rutas de la red vial cantonal de Montes de Oca.

Condición	Cantidad de	Longitud (m)
	Tramos	
Muy Bueno	0	0,00
Bueno	0	0,00
Regular	1	281,94
Deficiente	6	3019,82
Muy Deficiente	6	2205,63
Severamente Deteriorado	27	12129,89
TOTAL	40	17637,28

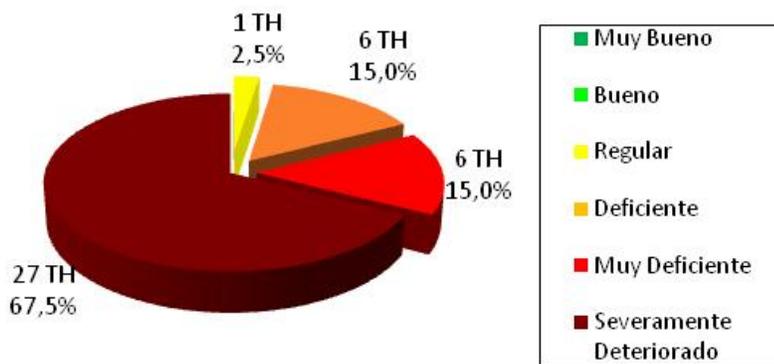


Figura 17. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el IRI característico.

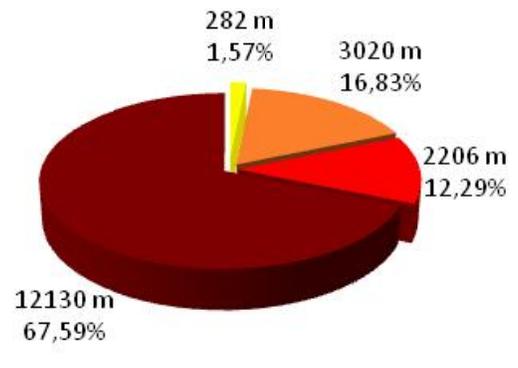


Figura 18. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según IRI característico.

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 68% de los kilómetros de los tramos homogéneo evaluados presentan una condición severamente irregular, según los valores de IRI característico.

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.

D₁: Valor de la deflexión bajo el plato de carga.

D₃: Valor de la deflexión a 300 mm del plato de carga.

D₅: Valor de la deflexión a 600 mm del plato de carga.

D₆: Valor de la deflexión a 900 mm del plato de carga.

Los valores de área_{máx} y área_{min} utilizadas para determinar el SAI fueron definidos a partir del análisis de los datos de deflexiones de diferentes redes municipales evaluadas por LanammeUCR. Los valores obtenidos para el mínimo del área es de 321.62 y un valor máximo de 639.80, esto considerando que los datos poseen una Distribución Normal con un 95% de confianza.

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 Montes de Oca. 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.

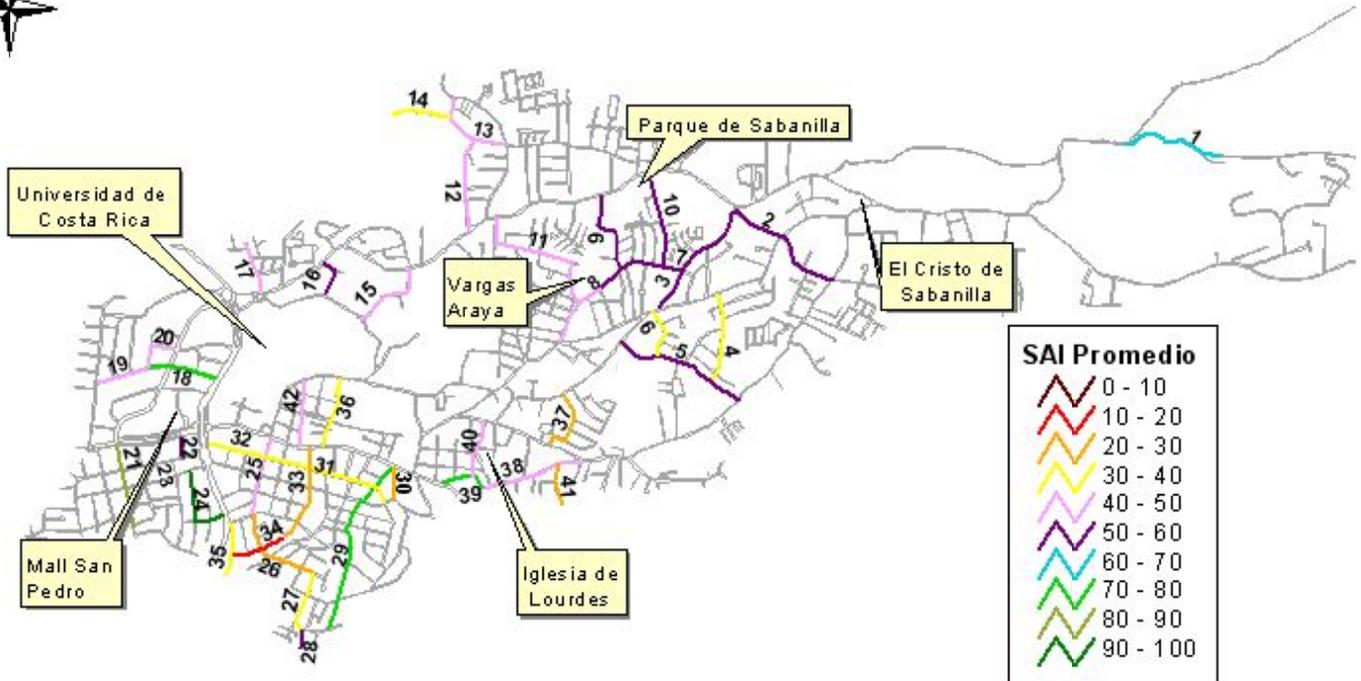


Figura 19. SAI promedio para cada tramo homogéneo en estudio

Tabla 8. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de SAI promedio, sobre la red vial cantonal de Montes de Oca evaluada.

Rango	Cantidad de TH	Longitud (m)	% Longitud
0-10	0	0	0,0%
10-20	1	302,92	1,7%
20-30	5	1858,28	10,4%
30-40	8	3330,22	18,6%
40-50	12	5141,44	28,6%
50-60	9	4094,45	22,8%
60-70	1	568,53	3,2%
70-80	3	1689,67	9,4%
80-90	1	449,64	2,5%
90-100	2	512,15	2,9%
Total	42,00	17947,3	100,0%

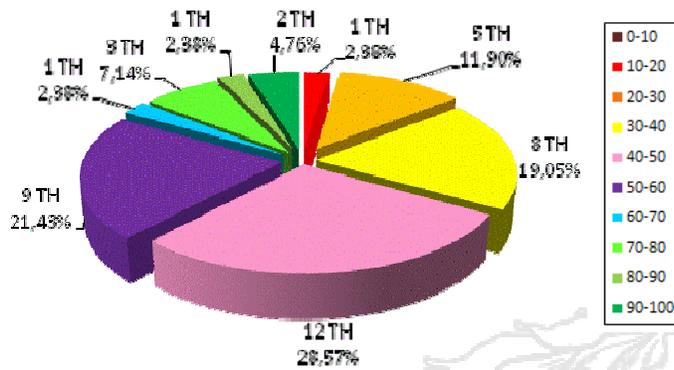


Figura 20. Gráfico de cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de SAI promedio.

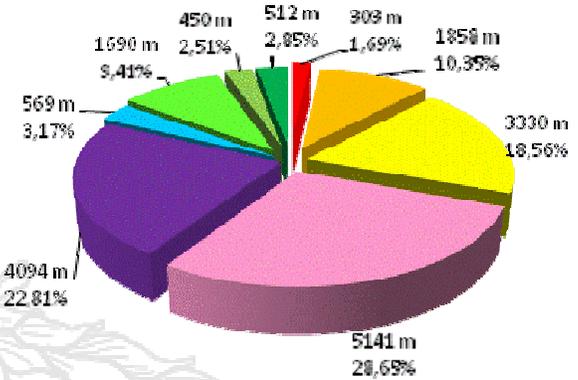


Figura 21. Gráfico de de metros lineales de carretera asociados a diferentes rangos de SAI promedio

Es posible observar, a partir de los gráficos anteriores, que cerca de la tercera parte de la red evaluada posee condiciones estructurales deficientes (inferior a 40%), en términos del índice de condición estructural (SAI). Por otro lado más de 9 km poseen condiciones regulares (SAI entre 40% y 60%), lo que representa cerca del 50% de la red evaluada, mientras que únicamente 3,2 km de las rutas posee un índice de condición estructural aceptable.

Se realizó también el determinó el SAI característico debido a la alta dispersión de estos, donde se utilizan parámetros estadísticos para su cálculo, se utilizó 0.841 veces la desviación estándar representa un 80% de confianza para una distribución normal. En la siguiente figura se muestra gráficamente la caracterización de los diferentes tramos según el SAI característico.

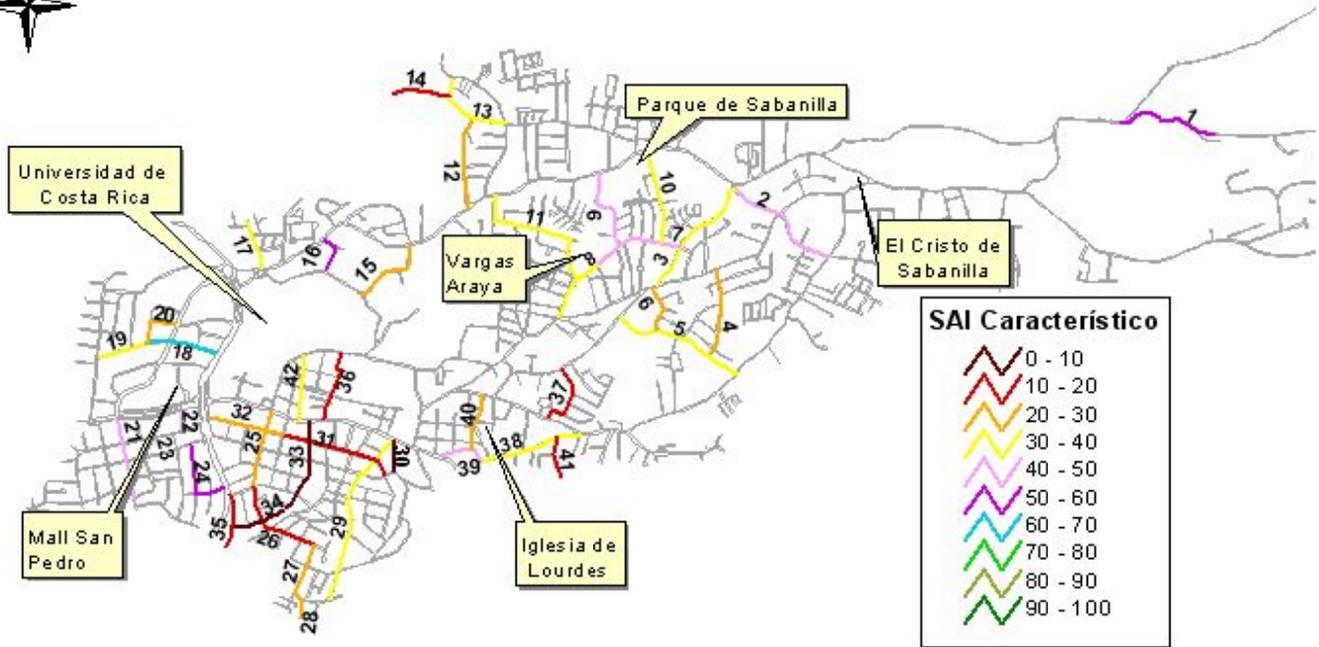


Figura 22. SAI característico para cada tramo homogéneo en estudio
Red Evaluada en el mes de febrero, 2009.

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

Rango	Cantidad de Tramos	Longitud (m)
0-10	3	1014,55
10-20	7	2803,21
20-30	10	3747,62
30-40	10	5427,42
40-50	7	3267,46
50-60	3	1218,93
60-70	1	388,19
70-80	0	0,00
80-90	0	0,00
90-100	1	79,92
Total	42,00	17947,3

*TH: Tramos homogéneos

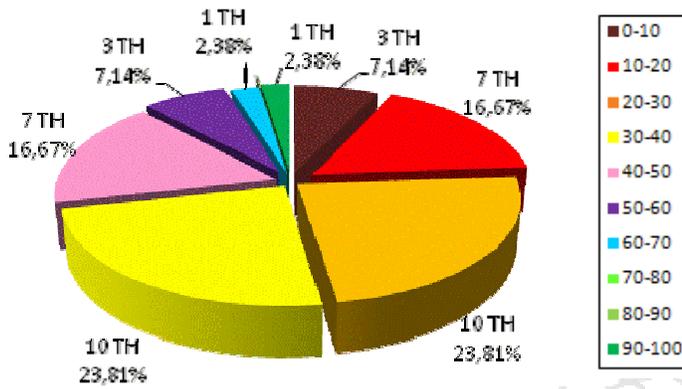


Figura 23. Gráfico de cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de SAI característico.

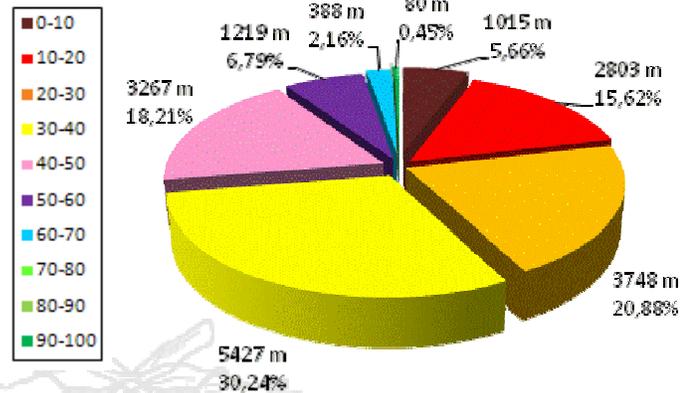


Figura 24. Gráfico de de metros asociados a diferentes rangos de SAI característico.

En las figuras 23 y 24 se observa, que cerca de 13 km de las rutas evaluadas presentan un índice de condición deficiente (SAI_{característico} entre 0 y 40), esto al considerar el SAI característico, por lo que es evidente que al considerar la dispersión de los datos la condición general de la red en estudio empeora, con respecto a los datos promedio.

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:

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

$$PRI_{caracteri\ co, j} = IRI_{promedio, j} + 0.841 * IRI_{desviaci\ on, j}$$

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

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.

A los tramos homogéneos 23 y 41 no fue posible realizarles la evaluación del IRI, debido a que no se llega a la velocidad necesaria para realizar el ensayo, por lo tanto no es posible determinar el valor del PRI.

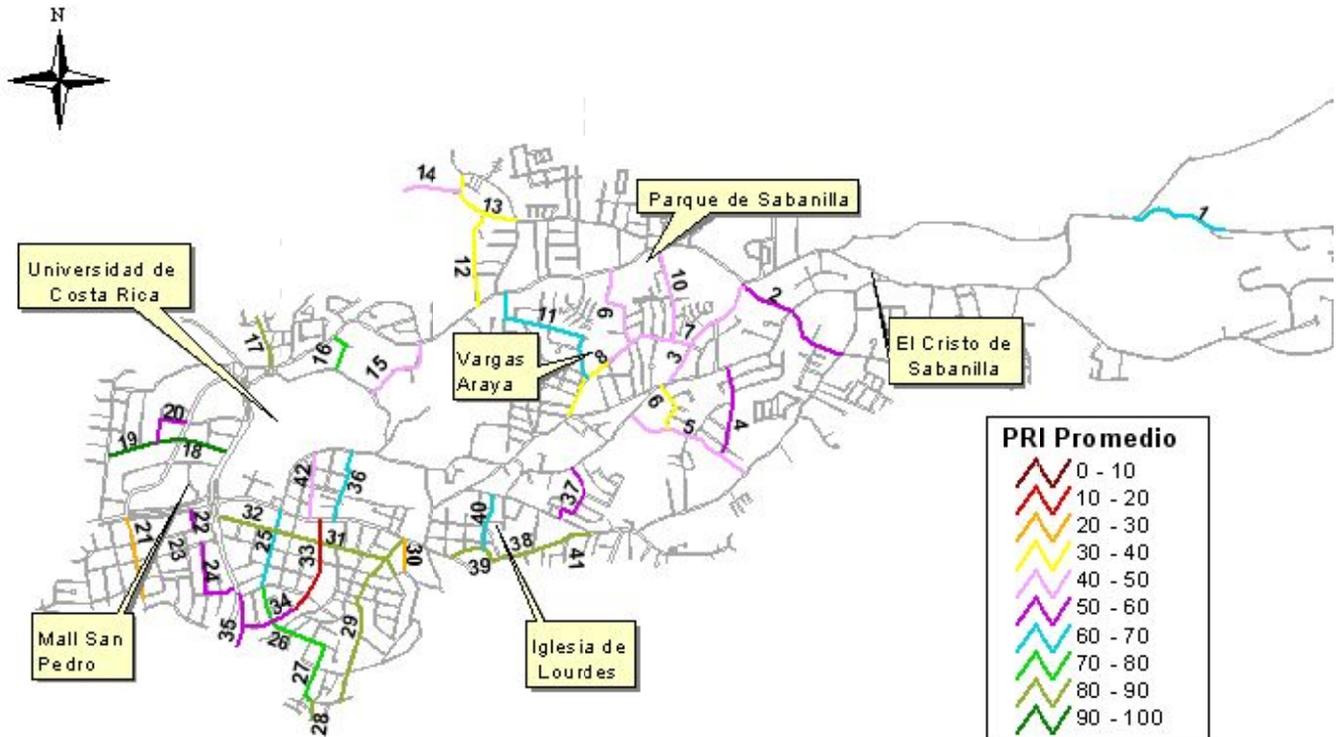


Figura 25. PRI promedio para cada tramo homogéneo en estudio.

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

Rango	Cantidad de tramos	Longitud (m)	% longitud
0-10	0	0	0,0%
10-20	1	534,51	3,0%
20-30	2	626,76	3,6%
30-40	4	1632,85	9,3%
40-50	8	4104,87	23,3%
50-60	8	2990,40	17,0%
60-70	5	2556,39	14,5%
70-80	3	1228,73	7,0%
80-90	7	3292,64	18,7%
90-100	2	670,13	3,8%
Total	40,00	17637,3	100,0%

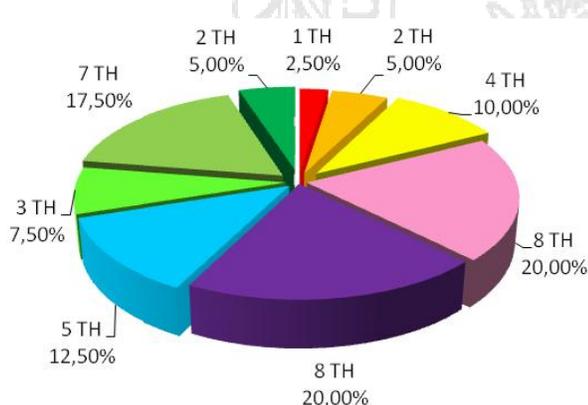


Figura 26. Gráfico de cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de PRI promedio.

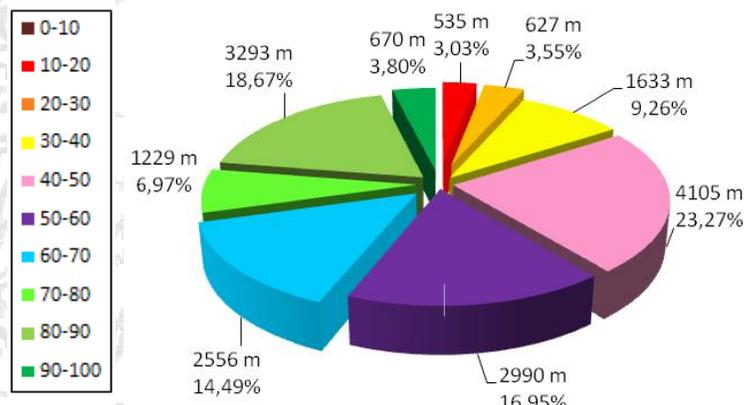


Figura 27. Gráfico de cantidad de metros asociados a diferentes rangos de PRI promedio.

Un 15,8% de las rutas evaluadas poseen un PRI promedio inferior al 40% por lo que poseen una alta irregularidad, mientras que un 40.2% (7095 m) de las rutas evaluadas presentan condiciones regulares, mientras que un 43.9% 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 28 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 anteriormente, es de esperar que tramos presenten 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.

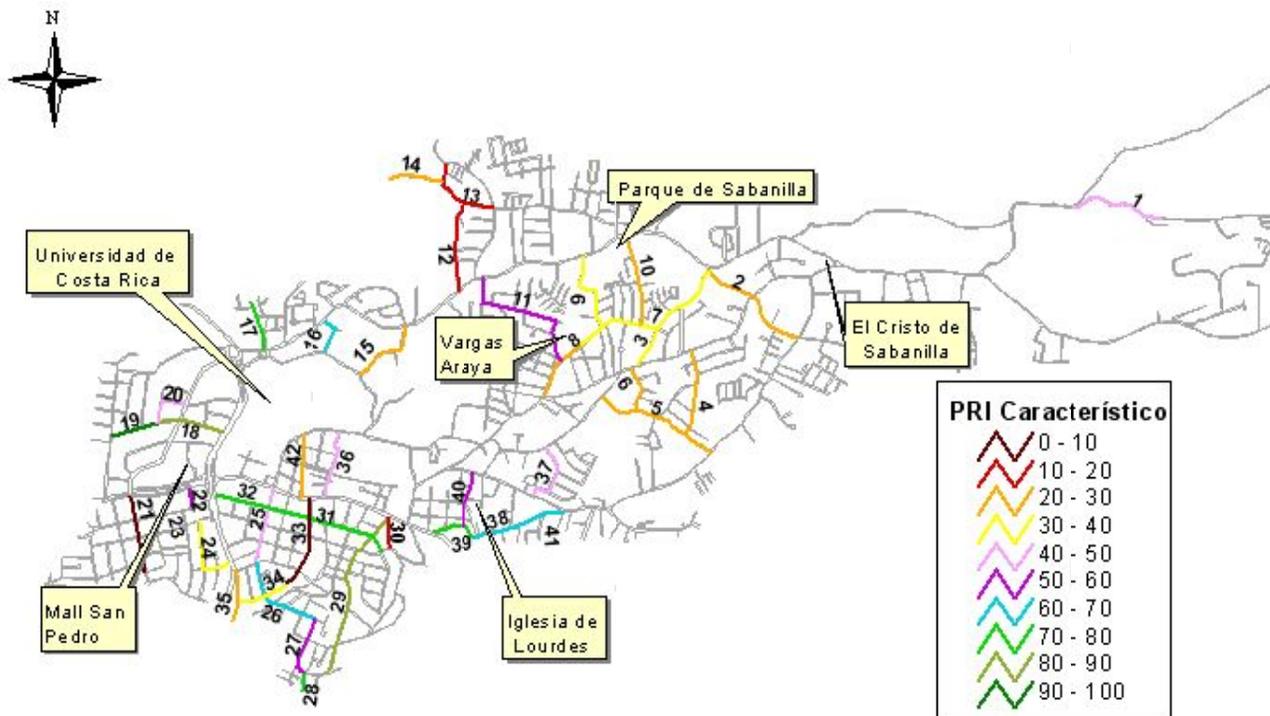


Figura 28. PRI característico para cada tramo homogéneo en estudio
Red Evaluada entre los meses de enero y febrero, 2009.

En la figura anterior se puede apreciar que una gran parte de red, más de una tercera parte, presenta deficiencias importantes en el IRI de la carretera al evaluarlo mediante el índice de condición característico PRI (inferior a 30). Es importante destacar que cerca del 20% de la

longitud analizada posee un PRI superior a 70, lo que implica una condición superficial aceptable.

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

Rango	Cantidad de tramos	Longitud (m)
0-10	2	984,15
10-20	3	1159,92
20-30	10	4544,62
30-40	5	2438,39
40-50	5	2067,66
50-60	4	1742,95
60-70	3	1295,87
70-80	5	1706,90
80-90	2	1414,88
90-100	1	281,94
Total	40,00	17637,3

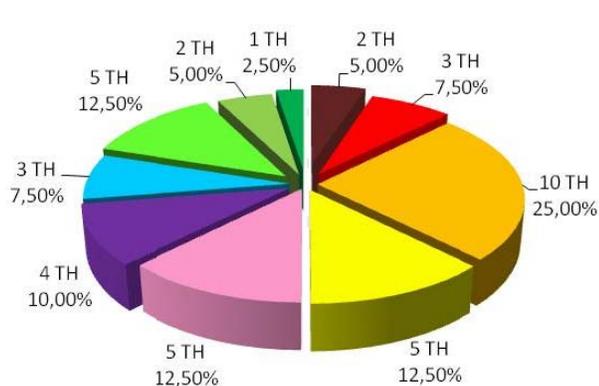


Figura 29. Gráfico de cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de PRI característico.

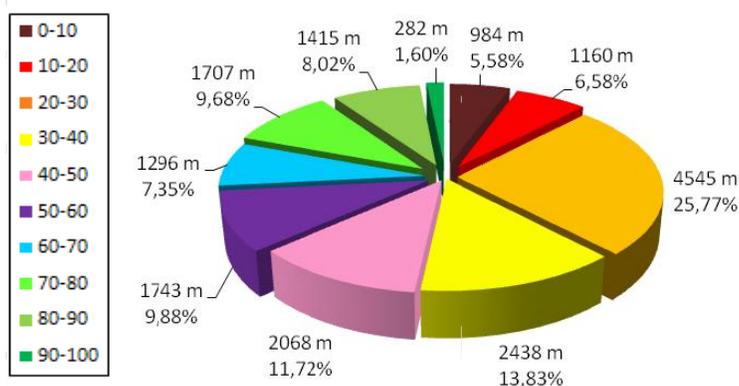


Figura 30. Gráfico de cantidad de metros asociados a diferentes rangos de PRI característico.

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 Montes de Oca 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).

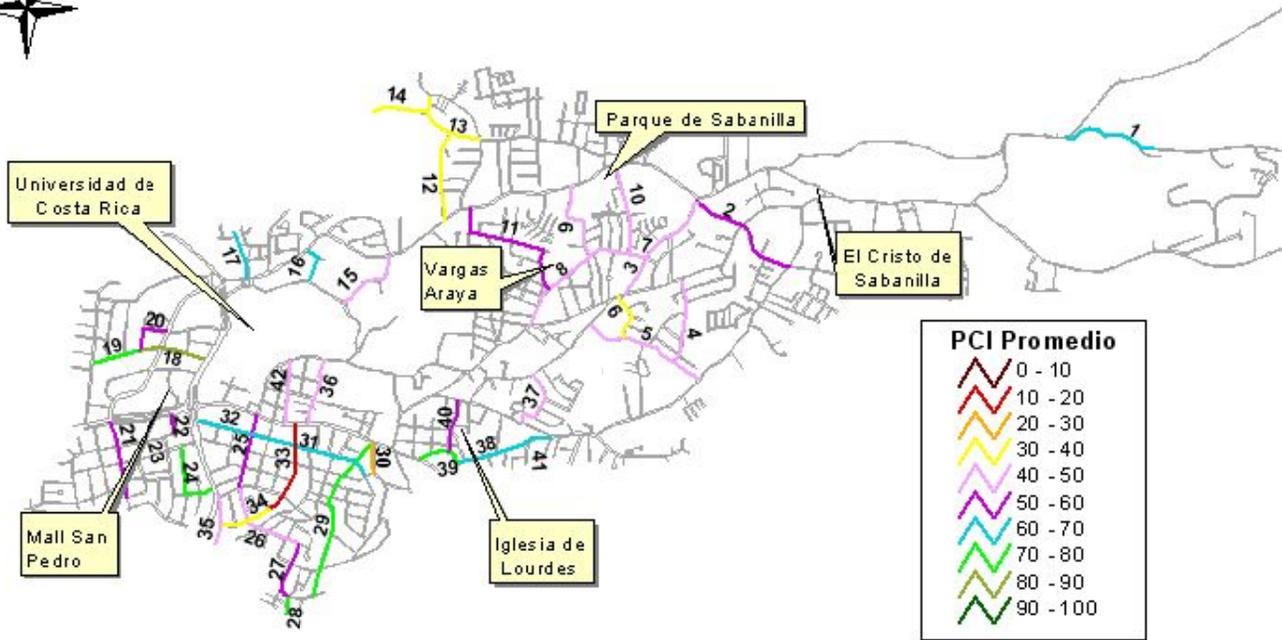


Figura 31. Rango de PCI promedio para los tramos homogéneos

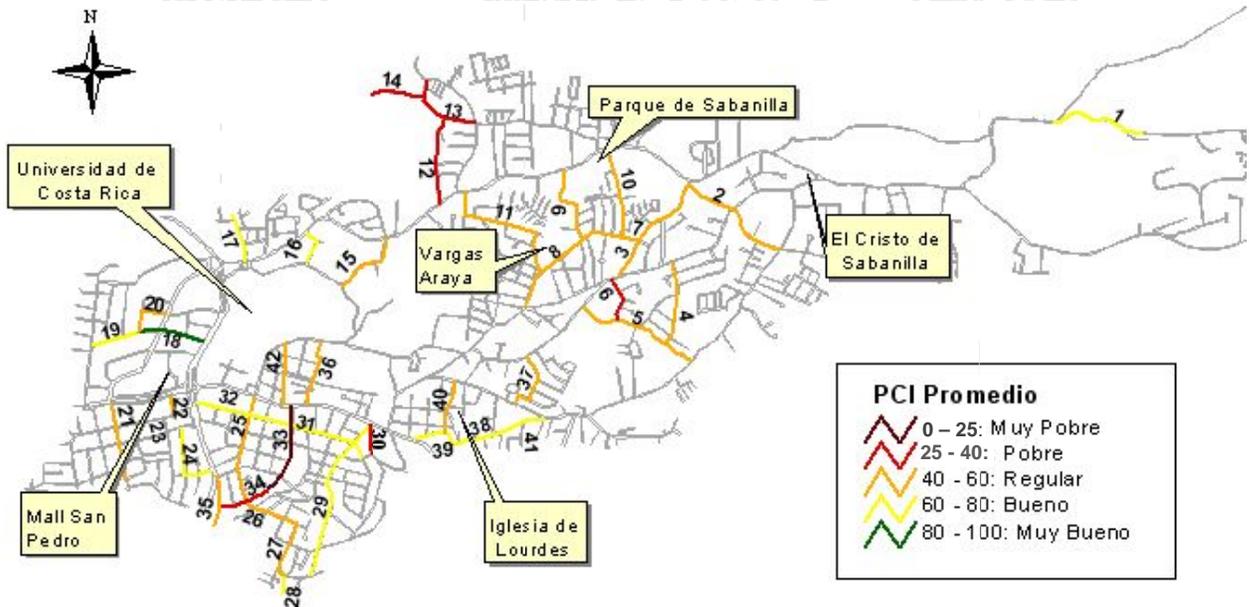


Figura 32. Categorías de condición para el PCI promedio para cada TH

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

Condición	Cantidad de Tramos	Longitud (m)
Muy Pobre	2	711,63
Pobre	5	1879,14
Regular	21	9864,81
Bueno	11	4793,51
Muy Bueno	1	388,19
Total	40	17637,3

Al analizar la tabla anterior y las Figuras 33 y 34 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 29,1% presenta condiciones aceptables de PCI (Muy Bueno y Bueno) y el restante 15,5% son tramos que presentan una condición pobre (PCI inferior a 40).

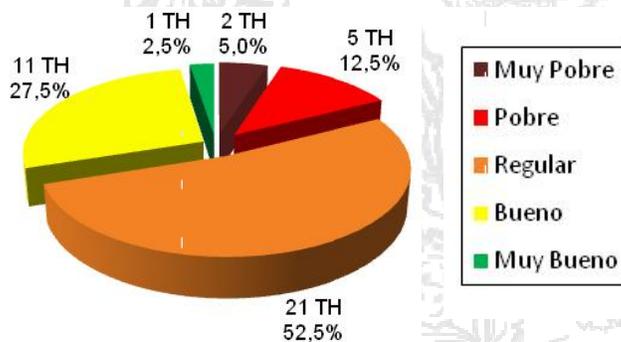


Figura 33. Cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de PCI promedio.

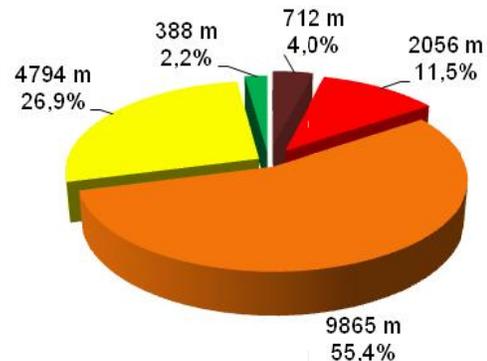


Figura 34. Cantidad de metros lineales asociados a diferentes rangos de PCI promedio.

Por otro lado, si realizamos un análisis de cada tramo considerando la dispersión de los datos, es posible obtener un $PCI_{característico}$, cuyos datos se muestran en las siguientes figuras.

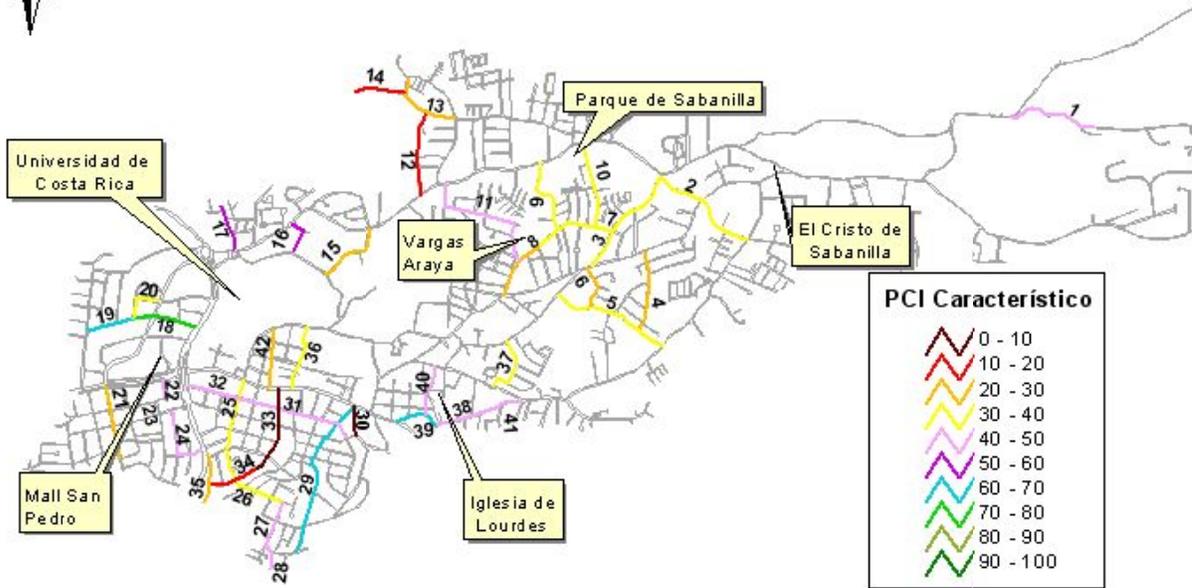


Figura 35. Rango de PCI característico para los tramos homogéneos
Red Evaluada en los meses de enero y febrero, 2009.

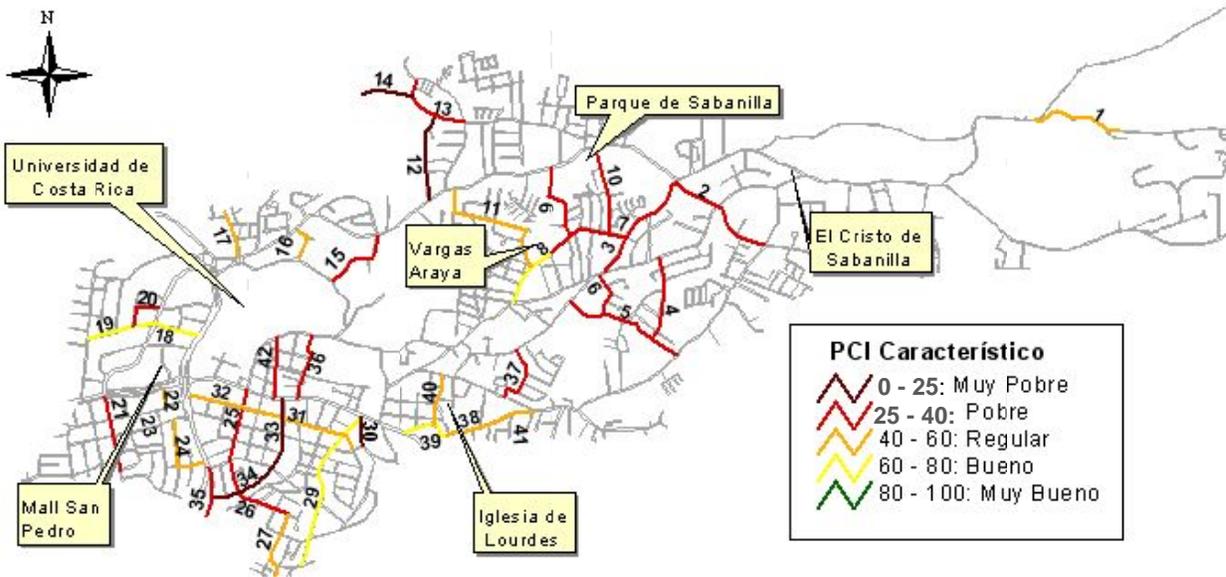


Figura 36. Categorías de condición para el PCI característico para cada TH
Red Evaluada en los meses de enero y febrero, 2009.

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 Montes de Oca evaluada.

Condición	Cantidad de Tramos	Longitud (m)
Muy Pobre	9	3379,71
Pobre	15	7332,92
Regular	12	4953,04
Bueno	4	1971,61
Total	40	17637,3

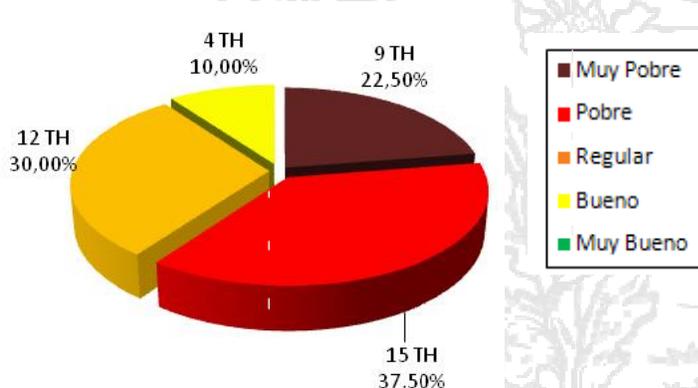


Figura 37. Cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de PCI característico.

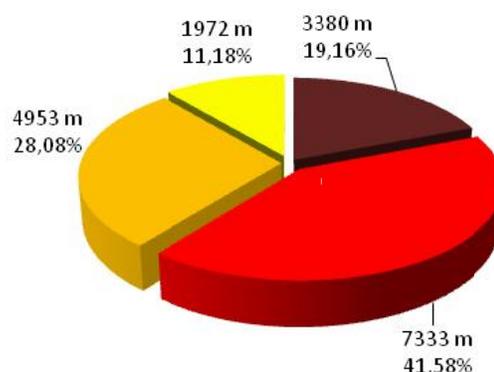


Figura 38. Cantidad de metros lineales asociados a diferentes rangos de PCI característico.

De la figura anterior se destaca que la condición pobre predomina sobre la RVC analizada, ya que las vías en condición pobre y muy pobre, según el PCI característico, superan el 60% de los kilómetros evaluados, seguido de las vías en condición regular las cuales superan el

28%, lo que representa 4953 m. No obstante, es importante destacar que un 11,2% de la red posee se describe con una buena condición.

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° TH	Long. (m)	Deflexión (FWD)			IRI			Índices de Condición		
		Prom.	Desv.	Caract.	Prom.	Desv.	Caract.	PRI	SAI	PCI
1	568,5	130,6	48,8	171,6	8,0	3,7	11,1	63,2	64,2	63,7
2	693,7	148,6	35,6	178,5	10,2	4,9	14,4	50,5	55,2	52,8
3	706,7	136,2	48,5	177,1	10,8	2,9	13,2	47,6	51,2	49,4
4	499,9	98,4	34,7	127,5	10,2	4,7	14,1	51,0	36,6	43,8
5	750,8	139,2	46,8	178,5	11,7	4,0	15,0	42,4	54,1	48,2
6	269,2	106,8	35,8	137,0	12,2	3,1	14,8	39,1	35,3	37,2
7	513,5	98,3	37,5	129,9	11,8	1,6	13,1	41,8	50,1	46,0
8	380,9	136,9	32,2	163,9	12,5	3,0	15,0	37,7	46,5	42,1
9	483,1	145,9	33,8	174,3	11,3	2,5	13,4	44,5	50,9	47,7
10	524,6	116,5	44,6	154,0	11,5	3,4	14,4	43,3	50,8	47,1
11	833,1	129,2	43,6	165,8	7,1	3,5	10,0	68,4	43,0	55,7
12	522,8	129,4	57,4	177,7	13,4	3,2	16,1	32,3	44,7	38,5
13	460,0	138,2	65,5	193,3	13,0	3,5	15,9	35,0	43,2	39,1
14	324,3	119,9	43,0	156,0	11,6	4,6	15,4	43,0	36,0	39,5
15	433,2	160,1	62,8	213,0	11,9	3,9	15,2	40,9	44,3	42,6
16	218,2	93,4	12,9	104,2	5,9	1,7	7,4	74,9	56,7	65,8
17	285,7	64,7	37,8	96,4	5,0	1,5	6,2	80,4	46,5	63,4
18	388,2	48,3	14,3	60,4	3,0	1,2	3,9	91,8	73,4	82,6
19	281,9	64,1	16,7	78,1	2,4	0,5	2,8	95,2	46,7	71,0
20	262,4	95,7	33,6	123,9	9,0	3,6	12,0	57,6	43,0	50,3
21	449,6	73,7	36,6	104,4	14,6	6,7	20,3	25,7	86,6	56,2
22	102,0	68,1	23,1	87,5	8,8	1,6	10,2	58,4	53,1	55,7
23	79,9	15,6	0,9	16,4	-	-	-	-	133,3	-
24	432,2	46,5	27,2	69,4	9,2	4,2	12,7	56,7	93,9	75,3



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

25	437,7	112,9	31,2	139,1	8,5	2,3	10,5	60,1	41,8	51,0
26	518,7	73,7	20,2	90,7	6,4	1,6	7,8	72,0	25,6	48,8
27	491,9	82,8	41,4	117,6	6,7	2,6	8,9	70,7	37,5	54,1
28	102,0	43,3	45,7	81,7	4,1	3,0	6,6	85,6	57,6	71,6
29	1020,0	15,3	3,4	18,1	3,5	1,1	4,4	88,6	70,1	79,4
30	177,1	121,2	40,0	154,8	14,6	2,0	16,2	26,0	20,2	23,1
31	631,8	59,3	26,1	81,3	4,2	2,5	6,3	84,6	39,6	62,1
32	412,7	74,6	18,1	89,8	4,5	1,4	5,6	83,3	39,0	61,2
33	534,5	140,5	23,2	159,9	16,8	7,2	22,9	13,4	25,0	19,2
34	302,9	108,3	30,6	134,0	9,7	4,5	13,4	53,8	14,4	34,1
35	299,4	84,3	35,7	114,3	10,2	4,3	13,8	50,5	33,3	41,9
36	401,1	104,6	42,2	140,1	7,8	3,8	11,0	64,2	33,4	48,8
37	397,9	152,6	31,3	179,0	8,6	2,8	10,9	59,8	27,2	43,5
38	559,1	80,2	24,8	101,0	5,0	3,5	7,9	80,3	48,6	64,4
39	274,8	54,7	27,8	78,1	4,7	1,3	5,8	81,8	70,4	76,1
40	315,9	119,1	45,2	157,1	6,9	3,3	9,7	69,3	46,0	57,7
41	230,1	101,3	19,8	118,0	-	-	-	-	22,0	-
42	368,8	101,7	33,5	129,8	10,9	3,8	14,1	46,5	49,5	48,0

Prom.: Promedio

Desv.: Desviación Estándar

Caract.: Característico

U.L

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 Montes de Oca.

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 Montes de Oca, 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 el uso de 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 39.

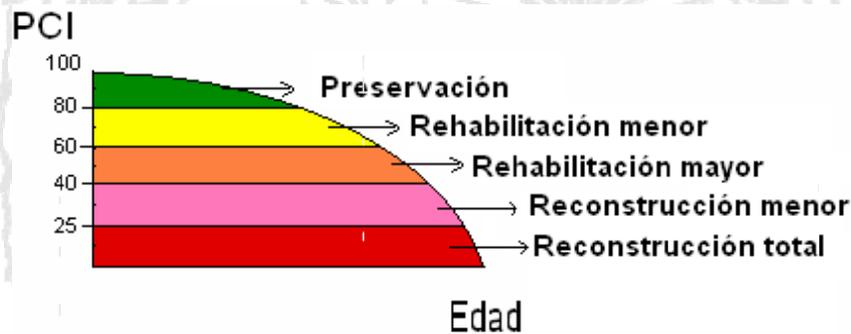


Figura 39. Ventanas de Operación (Fuente: NBDOT, 2005).

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 39 se puede determinar, de manera general, el tipo de intervención que requieren los diferentes tramos, considerando la condición superficial y estructural actual, a nivel de red. En la Figura 41 se observa de manera gráfica el tipo de intervención requerida para los diferentes tramos homogéneos analizados para el cantón de Montes de Oca, en 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 sobre capas asfálticas estructurales 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, proporcionando una leve mejora en la condición estructural.
- **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.

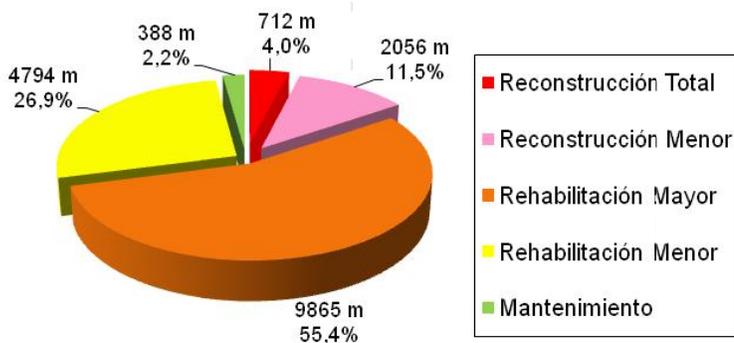


Figura 40. Cantidad de kilómetros asociados a los diferentes tipos de intervenciones

Al analizar los datos de PCI calculados para las principales rutas de la red vial cantonal de Montes de Oca es posible identificar que más del 55% de la red requiere una rehabilitación mayor, mientras que un 15,5% (2768 m) requieren reconstrucción parcial o total. Por otro lado, 29,1% de la red evaluada presenta una condición estructural y funcional aceptable, por lo que requiere de una inversión menor (mantenimiento o rehabilitación).

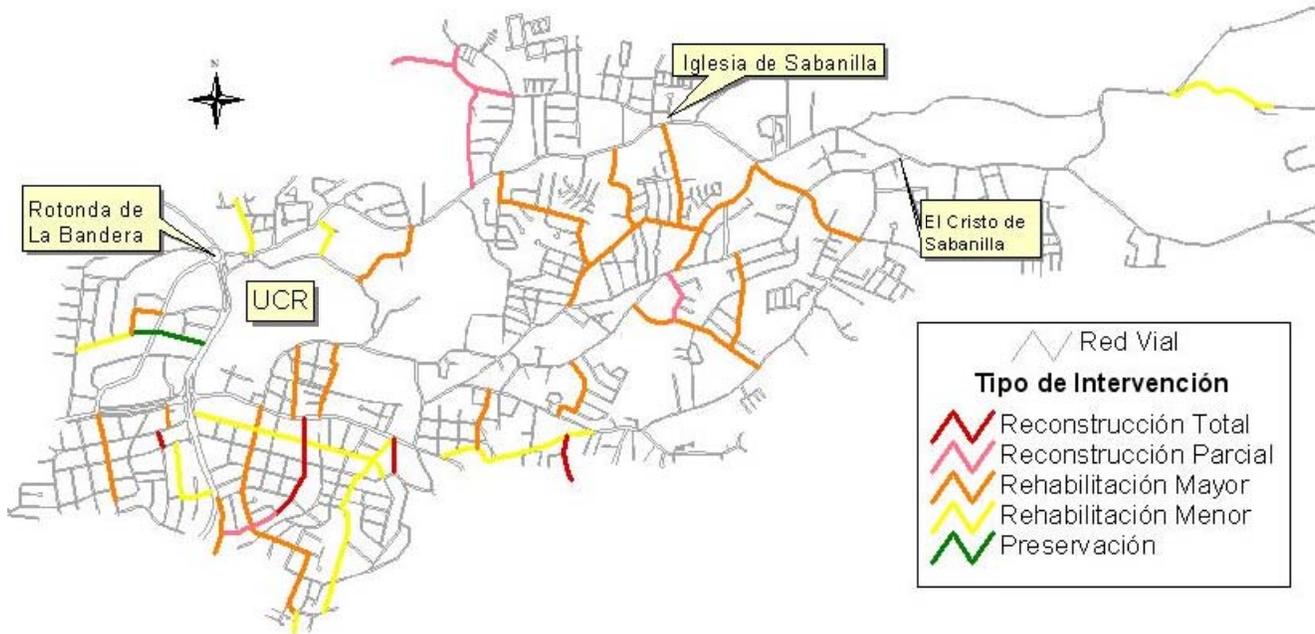


Figura 41. Tipo de intervención necesaria para cada tramo homogéneo según la condición actual.

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 o parcial.
- Reconstrucción total

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 Montes de Oca.

Los costos se obtienen realizando una investigación del costo que representa para la municipalidad aplicar cada uno de las intervenciones. Los costos unitarios de cada intervención se estiman mediante la recopilación 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 (ej. 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, ya que cerca del 69% de un total de 17,6 km evaluados poseen deflexiones altas (condición deteriorada o severamente deteriorada) lo que implica que la estructura del pavimento no posee la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas de tránsito a la que se encuentra expuesta. Es importante destacar que alrededor del 20% de la red evaluada posee buenas condiciones estructurales, lo cual implica una intervención de bajo costo, como una rehabilitación menor para mejorar su condición superficial o un mantenimiento para preservar estas rutas en buen estado.

En cuanto a la capacidad funcional de la red, se tiene que más del 45% de la red tiene un IRI superior a 10 m/km, lo que implica una irregularidad superficial muy alta, provocando un aumento en los costos de operación (desgaste de llantas, combustible, etc.) y mayores tiempos de viaje para los usuarios. Por otro lado es importante acotar 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.

Mediante el análisis estadístico de los datos de condición estructural se generaron 42 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.

Entre los resultados más relevantes del análisis de la red vial cantonal de Montes de Oca, se obtiene que más de la mitad de los kilómetros evaluados requieren una rehabilitación mayor, lo que representa una sobrecapa estructural asfáltica que proporcione el soporte requerido. Por otro lado únicamente uno de los tramos, el tramo 18 ubicado en el costado norte del restaurante Taco Bell, requiere preservación como estrategia de mantenimiento, mientras que 15,5% (2770 m aproximadamente) requieren de un aporte estructural importante, pues se requiere intervenir hasta las capas granulares mediante una reconstrucción, para darle a los tramos la capacidad estructural que requieren.



Para dos de los tramos definidos, tramo 23 y 41, no se establece una recomendación del tipo de intervención que requieren, pues al no poder evaluar su condición funcional, tampoco es posible determinar un valor de PRI ni el PCI asociado, sin embargo, se tienen los resultados de la evaluación estructural, la cual puede ser utilizada para que el municipio evalúe su condición y determine el tipo de intervención adecuada.

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 el 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.

Las recomendaciones de intervención se establecen basadas en la condición actuales del pavimento a la hora de realizar 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.

Para mejorar la estimación de los volúmenes vehiculares a diarios es necesario realizar conteos de 24 horas sobre diferentes rutas municipales, con el objetivo de obtener el comportamiento horario en el transcurso del día y calcular los factores de expansión horarios

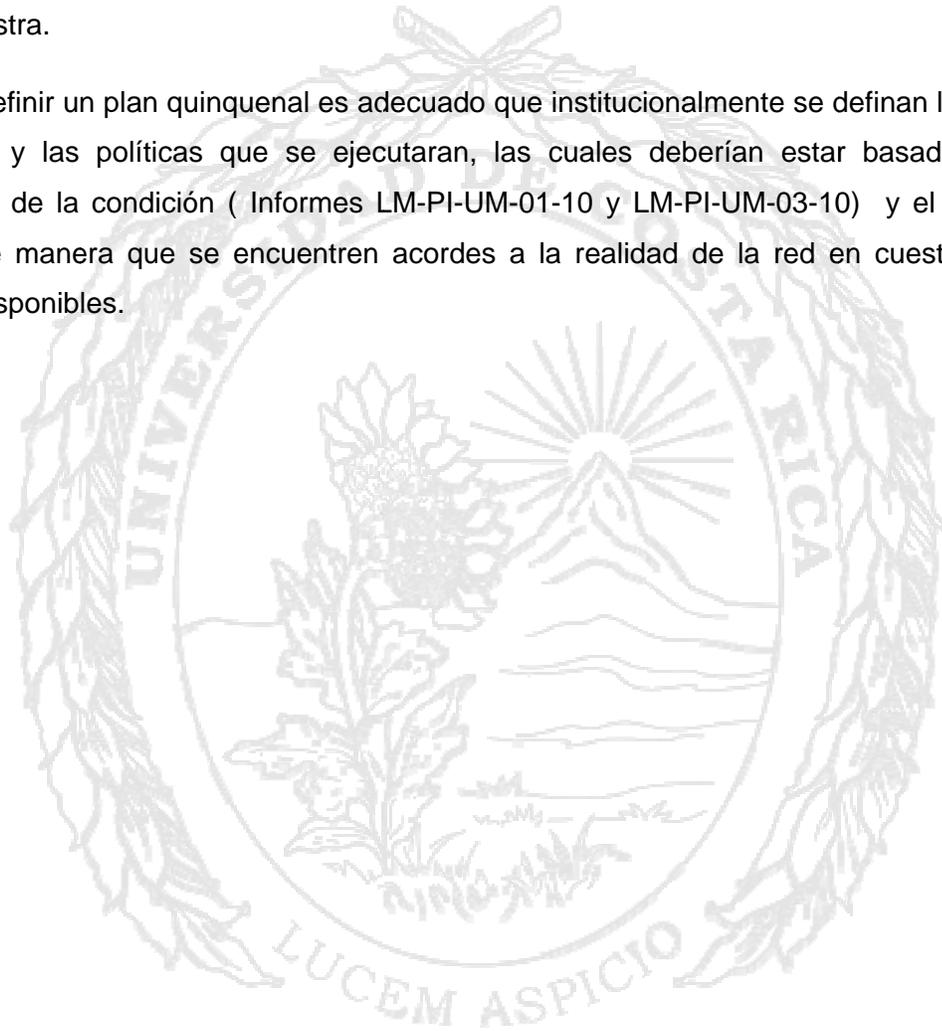
Informe LM-PI-GM-08-2011	Fecha de emisión: Julio de 2011	Página 53 de 55
--------------------------	---------------------------------	-----------------



propios de la red cantonal de Montes de Oca, con los que se pueda estimar un volumen diario a partir de datos de conteo de un periodo del día.

Es necesario que el municipio realice 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 (Informes LM-PI-UM-01-10 y LM-PI-UM-03-10) 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-UM-03-10, Informe de Avance: Desarrollo de un sistema para la conservación vial en la municipalidad de Montes de Oca. Proyecto Municipal, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José, Costa Rica. Julio, 2010.
- Informe LM-PI-UM-01-10, Informe de Avance: Índice de Regularidad Internacional (IRI), Evaluación 2009 y 2010. Proyecto Municipal, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José, Costa Rica. Julio, 2010.
- López Ramírez, Sharline. Sistema piloto de administración de pavimentos en la Municipalidad de Montes de Oca, 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.