



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-03-12

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE LA UNIÓN: TRAMOS HOMOGÉNEOS

Preparado por:
Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica
Febrero, 2012

Información técnica del documento




1. Informe LM-PI-GM-03-12		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE LA UNIÓN: TRAMOS HOMOGÉNEOS		4. Fecha del Informe: Febrero, 2012
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 La Unión se realizó la identificación y caracterización de tramos de ruta con condiciones similares, llamados tramos homogéneos, esto con el objetivo de identificar la intervención necesaria a secciones discretas de la carretera, según su estado estructural y funcional.</i> <i>En total se obtuvo 65 tramos homogéneos en un trayecto de aproximadamente 40 km con extensiones que van desde los 140 m hasta los 1560 m. Estos tramos fueron posteriormente analizados por diferentes parámetros basados en deflectometría e IRI (Índice de Regularidad Internacional).</i> <i>El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo muestra que más del 37 % de los kilómetros de los tramos analizados (15,3 km) presentan una condición de daños severos, por otro lado 9,1 km presentan una buena condición estructural. En cuanto a los valores promedio el IRI se determinó que más del 50% de las rutas evaluadas presentan un IRI superior a 10 mm/m, lo que implica una superficie de ruedo muy irregular.</i> <i>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.</i> <i>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, La Unión, Tramos homogéneos	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 61
13. Preparado por:		
Ing. Sharline López Ramírez Unidad de Gestión Municipal 	Colaboradores: Eliecer Arias Barrantes Ignacio Matamoros Elizondo	
Fecha: 09/02/12		
14. Revisado por: Ing. Jaime Allen Monge, MSc Coordinador Unidad de Gestión Municipal 		15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA 
Fecha: 09/02/12		Fecha: 13/02/2012



TABLA DE CONTENIDO

1. PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL.....	8
1.1 <i>IMPORTANCIA</i>	8
1.2 <i>SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP)</i>	9
1.3 <i>PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL</i>	11
1.4 <i>ESQUEMA METODOLÓGICO</i>	13
2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS	14
2.1 <i>DEFLEXIÓN E IRI PROMEDIO DE LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS</i>	19
2.1.1 <i>DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO</i>	20
2.1.2 <i>IRI PROMEDIO</i>	24
2.2 <i>DEFLEXIÓN E IRI CARACTERÍSTICOS</i>	27
2.2.1 <i>DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA</i>	28
2.2.2 <i>IRI CARACTERÍSTICO</i>	30
2.3 <i>INDICADORES DE CONDICIÓN</i>	33
2.3.1 <i>ÍNDICE DE CONDICIÓN ESTRUCTURAL: SAI</i>	33
2.3.2 <i>ÍNDICE DE CONDICIÓN FUNCIONAL: PRI</i>	37
3. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS	47
3.1 <i>CURVAS DE DETERIORO</i>	47
3.2 <i>VENTANAS DE OPERACIÓN</i>	49
3.3 <i>DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS</i>	55
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
4.1 <i>CONCLUSIONES</i>	57
4.2 <i>RECOMENDACIONES</i>	58
5. REFERENCIAS	60



INDICE DE TABLAS

TABLA 1. LONGITUD DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS.	17
TABLA 2. VALORES DE IRI PARA MOSTRAR EL EFECTO DE LA DISPERSIÓN SOBRE EL PROMEDIO DE UN CONJUNTO DE DATOS.	20
TABLA 3. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE FWD PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE LA UNIÓN EVALUADA.	23
TABLA 4. CANTIDAD TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE IRI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE LA UNIÓN EVALUADA.	27
TABLA 5. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE FWD CARACTERÍSTICO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE LA UNIÓN EVALUADA.	30
TABLA 6. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE IRI CARACTERÍSTICO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE LA UNIÓN EVALUADA.	32
TABLA 7. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE SAI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE LA UNIÓN EVALUADA.	35
TABLA 8. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE PRI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE LA UNIÓN EVALUADA.	39
TABLA 9. CATEGORIZACIÓN DE LA VÍA SEGÚN VALOR DE PCI	41
TABLA 10. TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE PCI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL EVALUADA DE LA UNIÓN.	43
TABLA 11. RESUMEN DE LOS DATOS ASOCIADOS A CADA TRAMO HOMOGÉNEO (TH) EN ESTUDIO.	45
TABLA 12. ECUACIONES DE LA EDAD DE PAVIMENTO PARA CAMINOS DE BAJO TRÁNSITO.	49
TABLA 13: TIPO DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA CADA TRAMO EVALUADO DE LA RED VIAL CANTONAL DE LA UNIÓN	51



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. CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE LA UNIÓN.	14
FIGURA 5. RED VIAL DEL CANTÓN DE LA UNIÓN	15
FIGURA 6. TRAMOS HOMOGÉNEOS DE LA UNIÓN.	18
FIGURA 7. TRAMOS HOMOGÉNEOS DE LOS CUADRANTES CENTRALES DEL DISTRITO DE TRES RÍOS DEL CANTÓN DE LA UNIÓN.	19
FIGURA 8. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR. FUENTE: INFORME N° UI-PC-03-08.	21
FIGURA 9. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS DEL SECTOR SUR DEL CANTÓN DE LA UNIÓN.	22
FIGURA 10. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS DEL SECTOR NORTE DEL CANTÓN DE LA UNIÓN.	23
FIGURA 11. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD PROMEDIO.	24
FIGURA 12. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO.	24
FIGURA 13. IRI PROMEDIO PARA LOS TRAMOS DEL SECTOR SUR DEL CANTÓN DE LA UNIÓN.	25
FIGURA 14. IRI PROMEDIO PARA LOS TRAMOS DEL SECTOR NORTE DEL CANTÓN DE LA UNIÓN.	26
FIGURA 15. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.	27
FIGURA 16. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.	27



FIGURA 17. DEFLECTOMETRÍA CARACTERÍSTICA PARA LOS TRAMOS DEL SECTOR SUR DE LA UNIÓN.	29
FIGURA 18. DEFLECTOMETRÍA CARACTERÍSTICA PARA LOS TRAMOS DEL SECTOR NORTE DE LA UNIÓN.	29
FIGURA 19. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD CARACTERÍSTICO.....	30
FIGURA 20. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN FWD CARACTERÍSTICO.....	30
FIGURA 21. CLASIFICACIÓN DE IRI CARACTERÍSTICO PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO DEL SECTOR SUR.....	31
FIGURA 22. CLASIFICACIÓN DE IRI CARACTERÍSTICO PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO DEL SECTOR NORTE.....	31
FIGURA 23. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI CARACTERÍSTICO.....	32
FIGURA 24. GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN IRI CARACTERÍSTICO.....	32
FIGURA 25. SAI PROMEDIO PARA LOS DIFERENTES TRAMOS DEL SECTOR SUR DE LAS RUTAS EN ESTUDIO.....	34
FIGURA 26. SAI PROMEDIO PARA LOS DIFERENTES TRAMOS DEL SECTOR SUR DE LAS RUTAS EN ESTUDIO.....	35
FIGURA 27. GRÁFICO DE CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE SAI PROMEDIO.....	36
FIGURA 28. GRÁFICO DE DE METROS ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE SAI PROMEDIO.....	36
FIGURA 29. PRI PROMEDIO PARA LOS TRAMOS DEL SECTOR SUR DEL LA RED EVALUADA.....	38
FIGURA 30 PRI PROMEDIO PARA LOS TRAMOS DEL SECTOR NORTE DEL LA RED EVALUADA.....	38
FIGURA 31. GRÁFICO DE CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PRI PROMEDIO.....	39
FIGURA 32. GRÁFICO DE CANTIDAD DE METROS ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PRI PROMEDIO.....	39



FIGURA 33. RANGO DE PCI PROMEDIO PARA LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS DEL SECTOR SUR DE LA RED EVALUADA.....	41
FIGURA 34. RANGO DE PCI PROMEDIO PARA LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS DEL SECTOR NORTE DE LA RED EVALUADA.....	42
FIGURA 35. CATEGORÍAS DE CONDICIÓN PARA EL PCI PROMEDIO PARA CADA TH, SECTOR SUR.....	42
FIGURA 36. CATEGORÍAS DE CONDICIÓN PARA EL PCI PROMEDIO PARA CADA TH, SECTOR NORTE.....	43
FIGURA 37. CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS (TH) ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PCI PROMEDIO.....	44
FIGURA 38. CANTIDAD DE METROS LINEALES ASOCIADOS A DIFERENTES RANGOS DE PCI PROMEDIO.....	44
FIGURA 39. VENTANAS DE OPERACIÓN (FUENTE: ADAPTACIÓN DE NBDOT, 2005).....	49
FIGURA 40: TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL EVALUADA EN LA UNIÓN.....	52
FIGURA 41. TIPO DE INTERVENCIÓN NECESARIA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO SEGÚN LA CONDICIÓN ACTUAL, SECTOR NORTE.....	53
FIGURA 42. TIPO DE INTERVENCIÓN NECESARIA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO SEGÚN LA CONDICIÓN ACTUAL, SECTOR SUR.....	54



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 La Unión, 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 el Municipio 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.

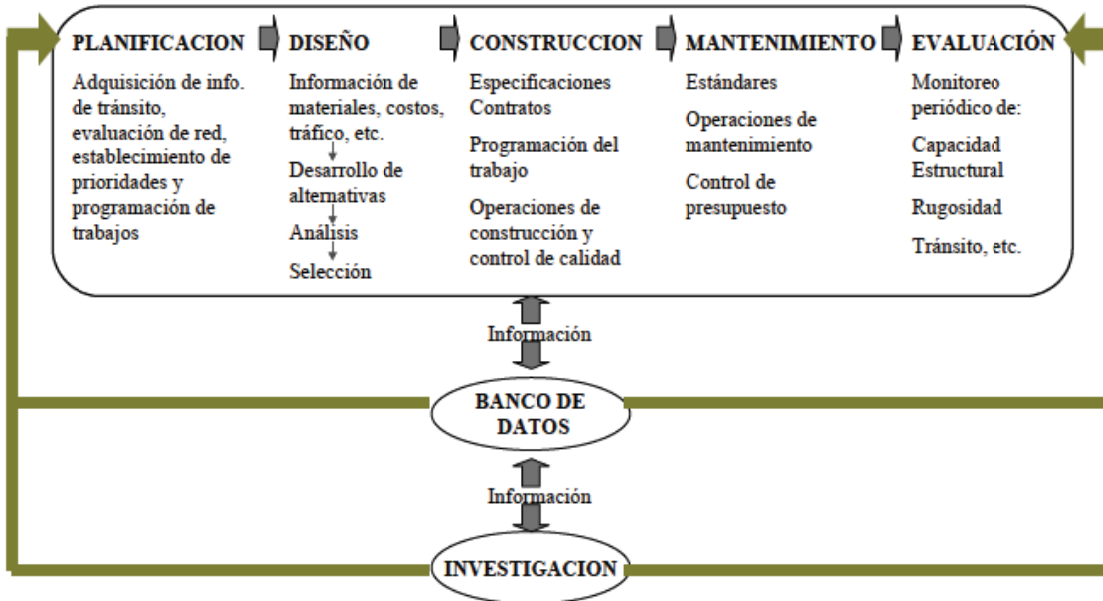


Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos (Fuente: Haas, 1993).

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 técnicas de construcción, mantenimiento, etc. Es importante entender claramente los factores tecnológicos 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.

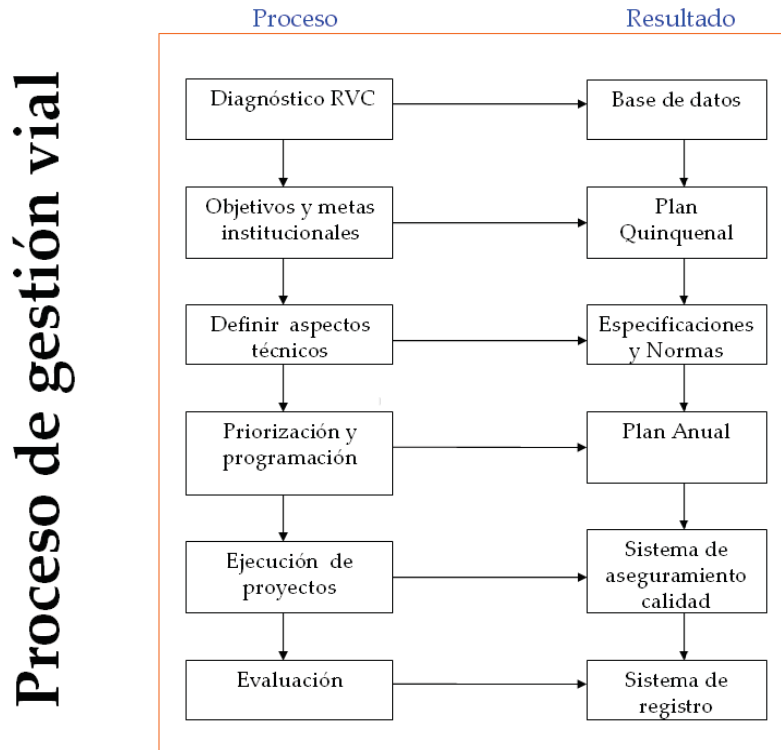


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial (Fuente: LanammeUCR, 2008).

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 en 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.

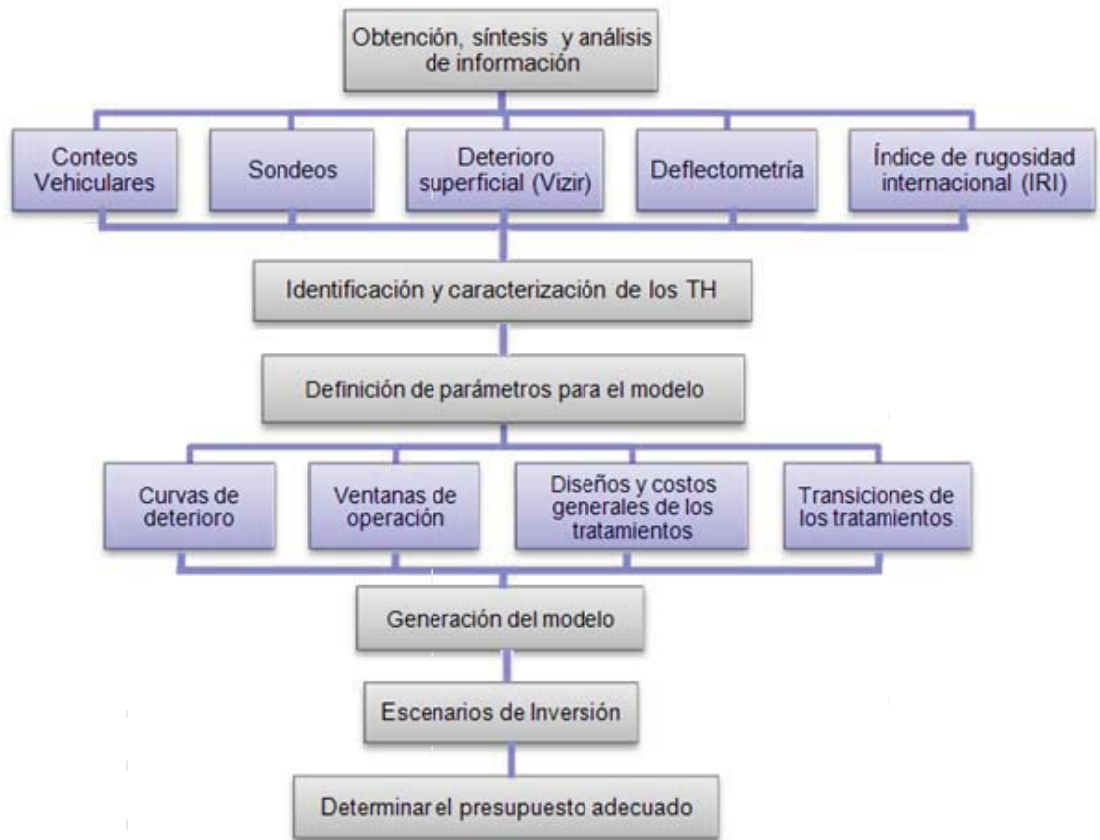


Figura 3. Esquema metodológico (Fuente: López, 2009).

2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS

Las rutas evaluadas fueron categorizadas por la Unidad Técnica de Gestión Vial de la Municipalidad de La Unión como rutas primarias, identificadas como las más importantes de la red vial cantonal (ver figura 4). Las rutas identificadas como principales fueron evaluadas funcional y estructuralmente, se presentan en la siguiente figura de color azul y suman un total superior a 40 km de longitud.

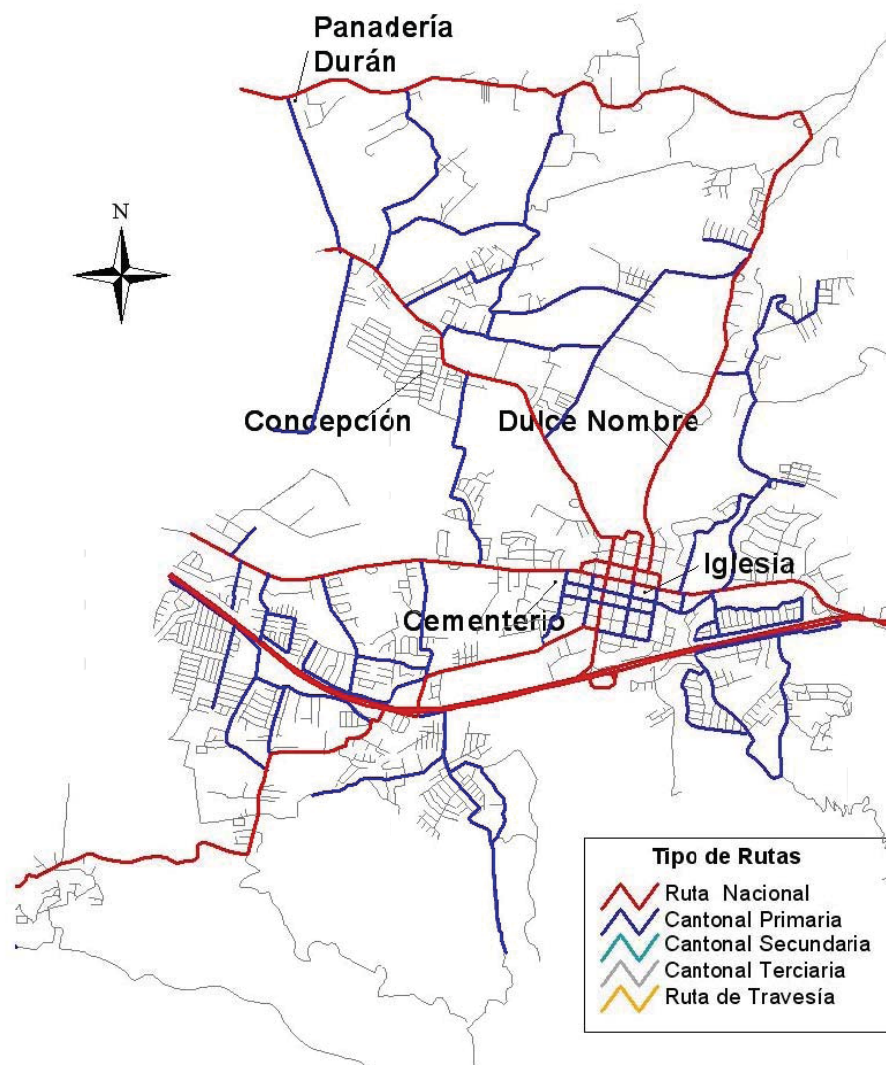


Figura 4. Clasificación de la red vial cantonal de La Unión.

A continuación, se presenta una propuesta de clasificación de las rutas cantonales evaluadas, por lo que varias vías pasan de ser rutas primarias a ser consideradas como rutas secundarias o travesía. Esta propuesta se genera a partir del análisis de la distribución de los caminos en la red. La propuesta establece que aproximadamente 6200 m pasan a ser rutas secundarias, debido a que son rutas recolectoras del flujo vehicular que transita en rutas terciarias (rutas vecinales) y 5850 m se redefinen como rutas de travesía, ya que son rutas que conectan dos rutas nacionales, la propuesta se muestra de manera gráfica en la siguiente figura.

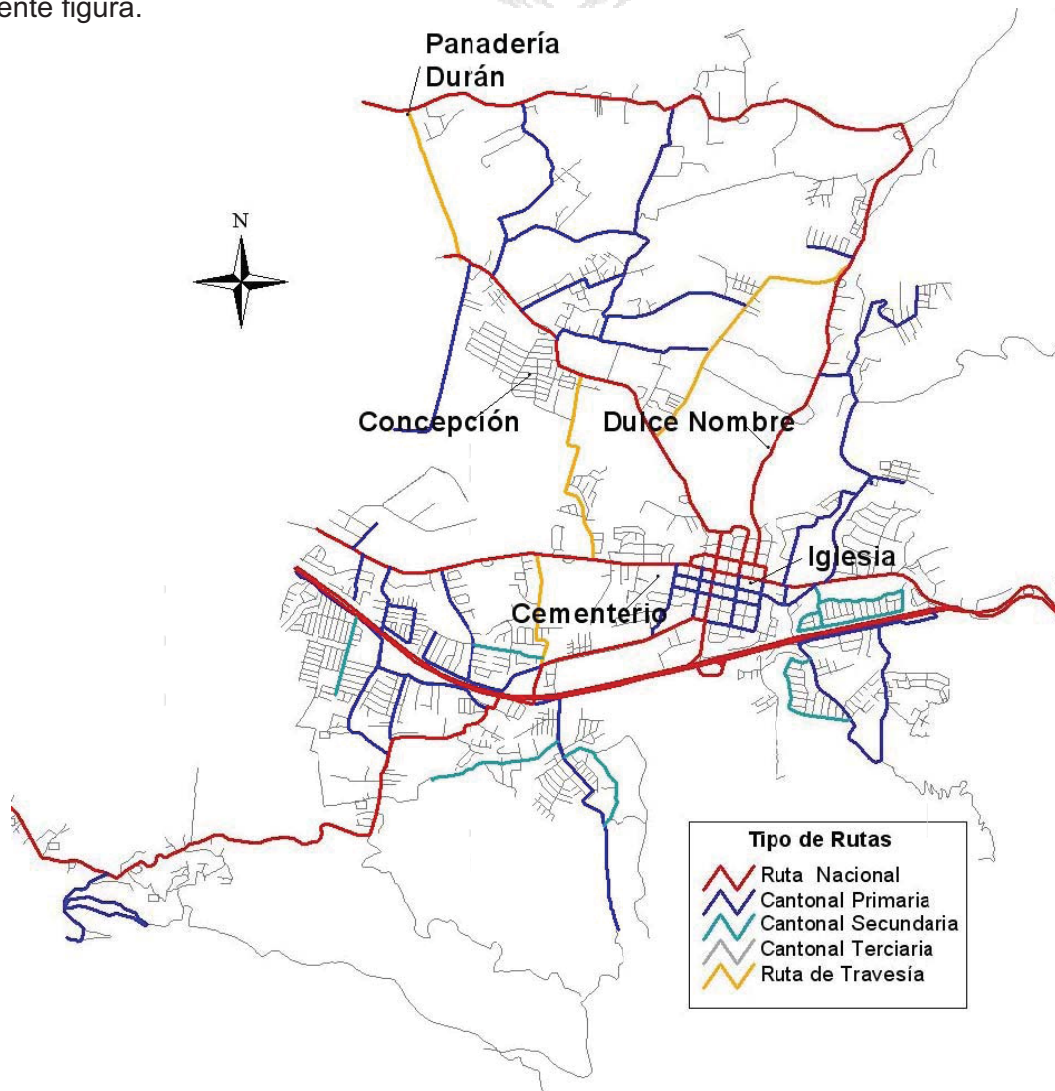


Figura 5. Red vial del cantón de La Unión



Se trató de validar esta propuesta con los integrantes de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal (UTGVM), sin embargo, no se recibió ningún comentario o pronunciamiento al respecto. Por lo que queda a decisión de la UTGVM adoptar o no la propuesta aquí mencionada, no obstante, la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR ofrece colaboración mediante la asesoría técnica necesaria para analizar o modificar la propuesta planteada.

Las evaluaciones de Índice de Regularidad Superficial (IRI) y los valores de deflectometría fueron obtenidos en el mes de marzo del año 2009, esta información fue analizada y permitió generar 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 ni económico 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 entre 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 65 tramos homogéneos a partir de aproximadamente 41 km evaluados, a continuación se tabula del número de tramo y la longitud aproximada en metros de cada uno de ellos, además en la figura 6 y figura 7 se muestra su ubicación en la red.

Tabla 1. Longitud de los diferentes tramos homogéneos.

N° de Tramo	Longitud (m)	N° de Tramo	Longitud (m)
1	665,1	34	901,4
2	359,5	35	1542,9
3	650,9	36	673,2
4	388,8	37	297,1
5	265,8	38	553,2
6	650,9	39	585,7
7	285,2	40	734,5
8	1559,4	41	331,5
9	898,3	42	312,1
10	848,5	43	679,1
11	1295,5	44	296,6
12	951,4	45	330,6
13	404,3	46	530,4
14	804,3	47	682,4
15	1233,9	48	472,6
16	579,3	49	663,6
17	981,9	50	611,6
18	725,0	51	141,7
19	566,3	53	377,7
20	556,9	52	478,5
21	330,7	54	394,2
22	910,5	55	898,6
23	539,7	56	893,1
24	263,9	57	528,9
25	355,0	58	484,2
26	502,5	59	1063,3
27	692,3	60	386,4
28	597,6	61	443,8
29	499,5	62	529,1
30	828,7	63	406,8
31	595,1	64	601,0
32	516,0	65	908,3
33	917,4		

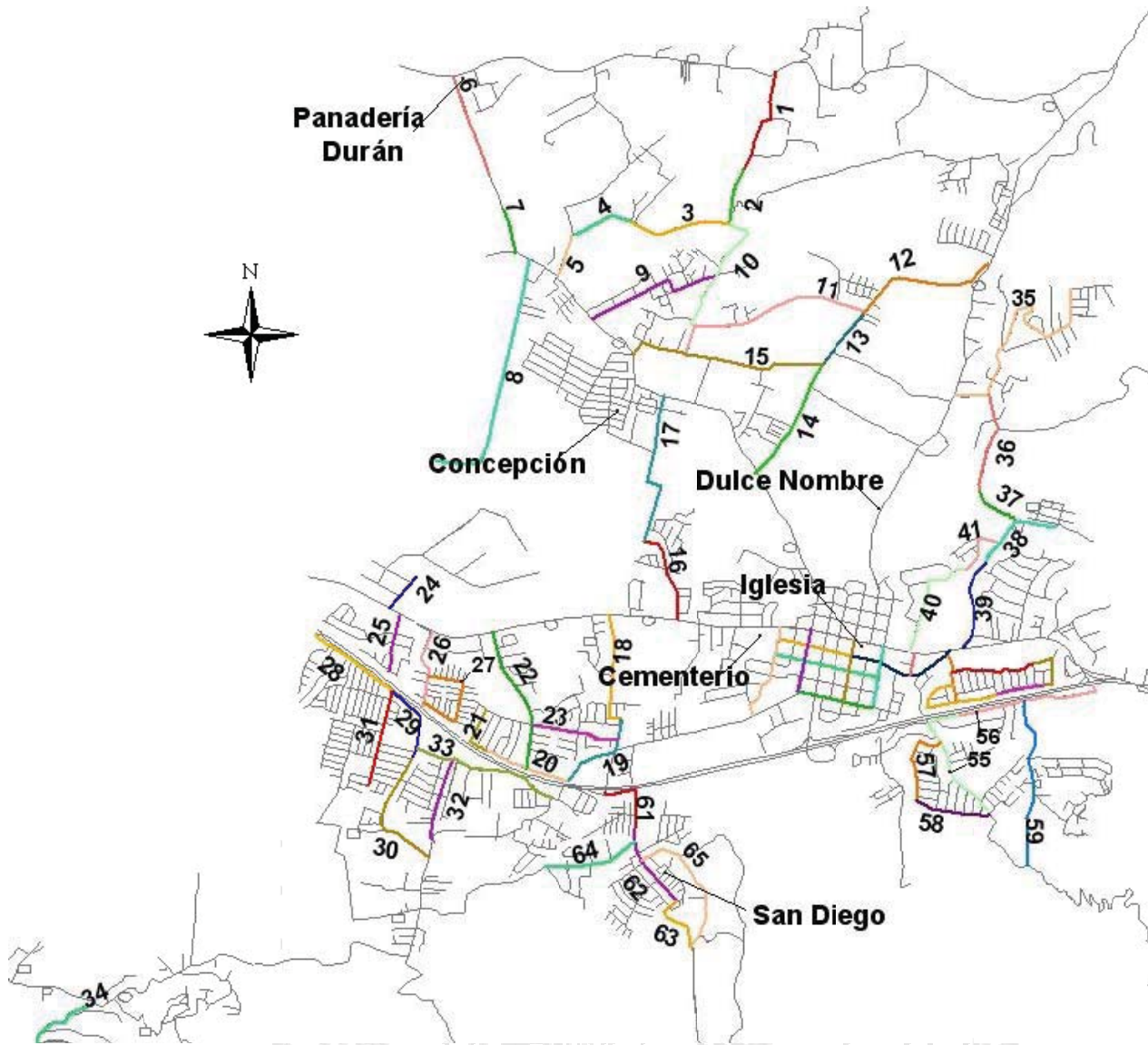


Figura 6. Tramos homogéneos de La Unión.



Figura 7. Tramos homogéneos de los cuadrantes centrales del distrito de Tres Ríos del cantón de La Unión.

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

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 mes de marzo del 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 (centro de carga). 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 del tránsito.

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.

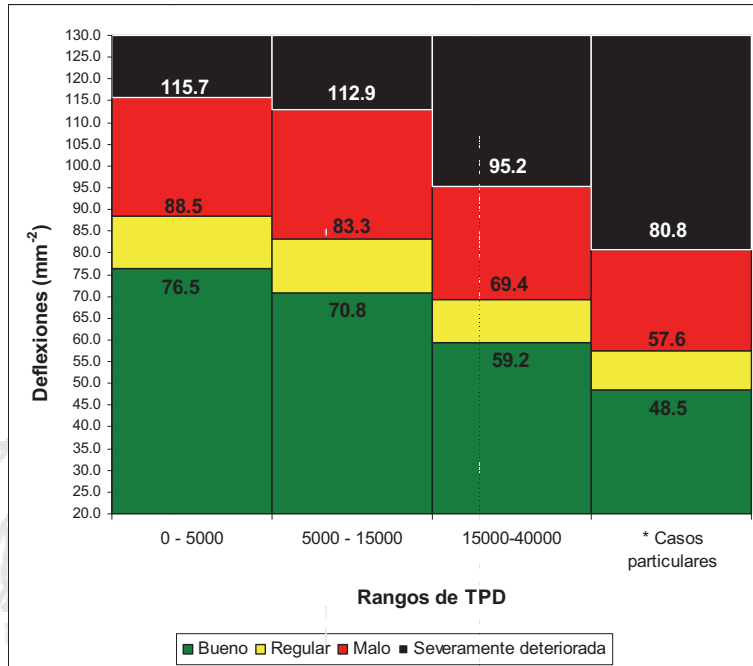


Figura 8. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base granular. Fuente: Informe N° UI-PC-03-08.

Para caracterizar los resultados de deflectometría es necesario conocer el tránsito promedio diario (TPD) que circula sobre las diferentes rutas. Se realizaron conteos en diferentes sitios de la red vial cantonal, por parte del personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial durante el año 2009, por medio del uso de contadores electrónicos facilitados por LanammeUCR.

A pesar de que los conteos fueron realizados no fue posible, para los miembros de la Unidad de Gestión del Lanamme, conocer el sitio en donde los miembros de la UTGVM realizaron los conteos vehiculares. A pesar de que no se conoce la ubicación exacta de diferentes conteos, si se conoce el volumen diario, todos los conteos realizados tienen un tránsito promedio diario inferior a 5000 vehículos, por lo que es posible categorizar los rangos de deflectometría, manteniendo el supuesto de que todas las rutas evaluadas presentan un TPD inferior a los 5000 vehículos. (Ver figura 9 y figura 10)

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

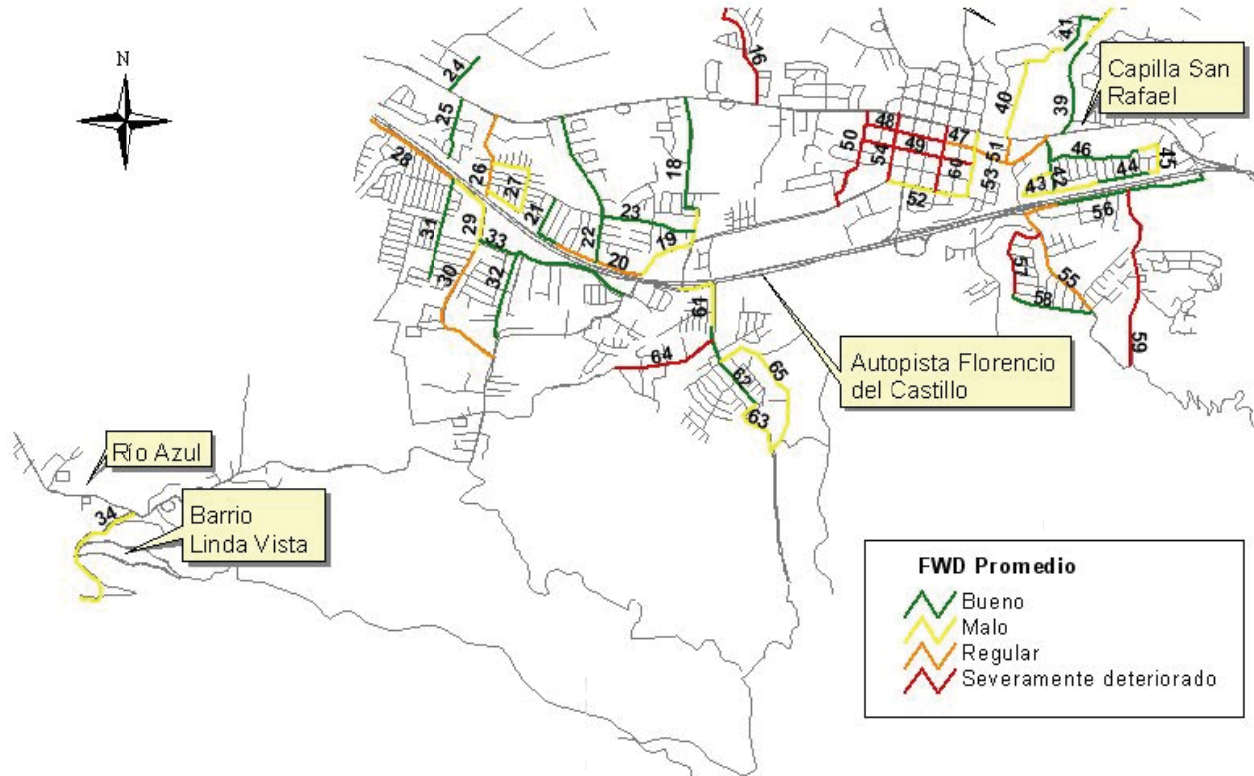


Figura 9. Deflectometría promedio de las vías analizadas del sector sur del cantón de La Unión.

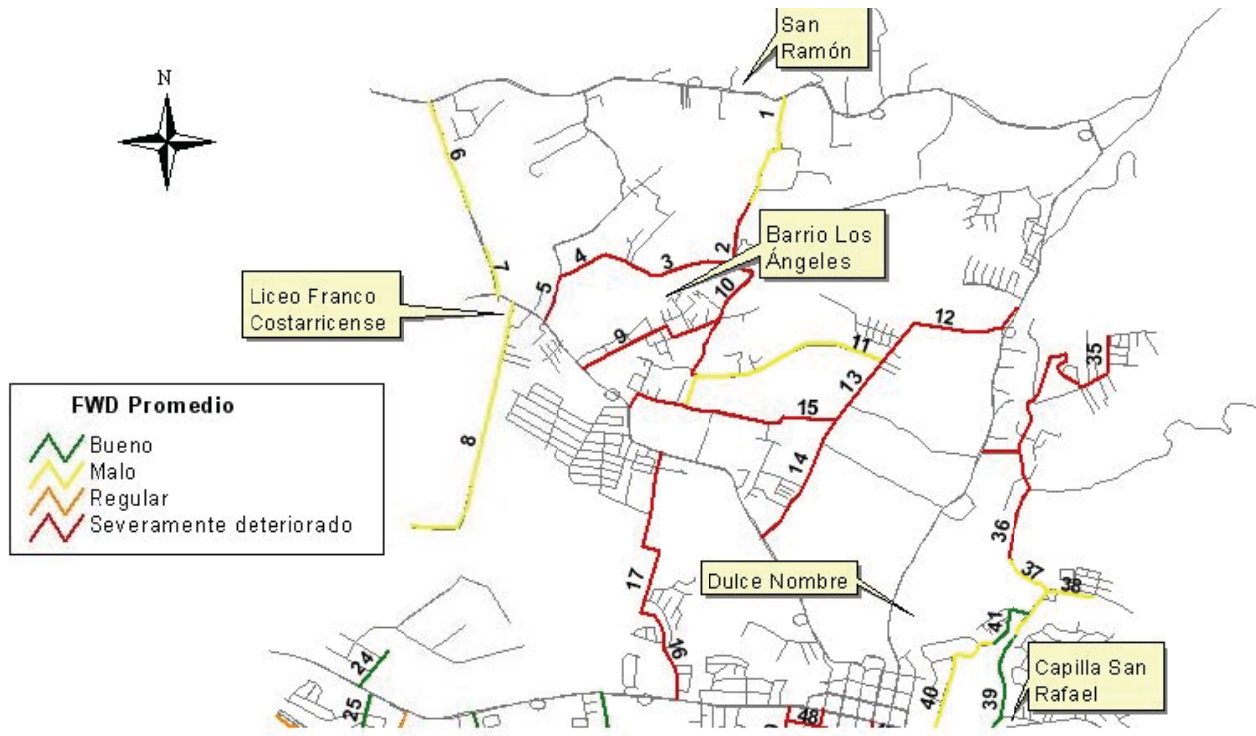


Figura 10. Deflectometría promedio de las vías analizadas del sector norte del cantón de La Unión.

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 11 y 12.

Tabla 3. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de FWD promedio, sobre la red vial cantonal de La Unión evaluada.

Condición	Cantidad de tramos	Longitud (m)
Bueno	17	9115,9
Regular	7	4208,2
Malo	19	12325,0
Severamente deteriorado	22	15304,6
Total	65	40953,8

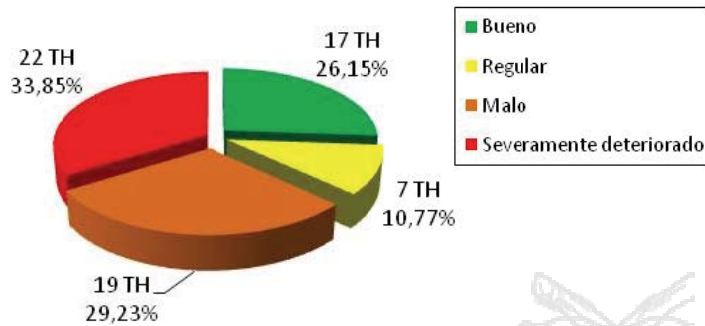


Figura 11. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el FWD promedio.

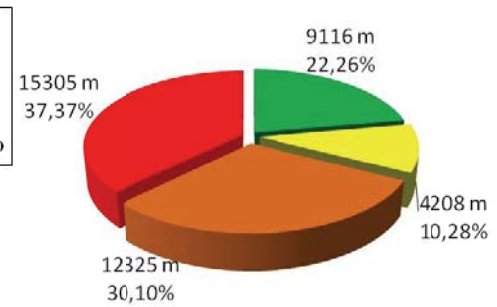


Figura 12. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según FWD promedio.

En las figuras anteriores es posible observar que más de una tercera parte de los kilómetros evaluados poseen una estructura del pavimento severamente deteriorado, por lo tanto deficiente capacidad para soportar las cargas de tránsito a las que se ve sometida. Si se considera la longitud total evaluada cerca del 70% (severamente deteriorado y mala condición estructural) no cuenta con la capacidad suficiente para soportar las solicitaciones de carga del volumen vehicular. Por otro lado, es importante rescatar que poco más del 22,3% cuenta con una buena capacidad estructural, lo que representa 9,1 km de las rutas definidas como principales.

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 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 La Unión, esta evaluación se realizó en marzo del 2009 abarcando toda la red vial con una longitud aproximada de 45 Km.

El análisis del $IRI_{promedio}$ indica que las rutas en estudio presentan un deterioro severo del estado superficial, en las siguientes figura es posible visualizar la condición de IRI promedio para los diferentes tramos. Es importante acotar que únicamente fue posible analizar 64 de los 65 tramos, ya que el tramo 60 no fue posible evaluarlo con el perfilómetro láser.

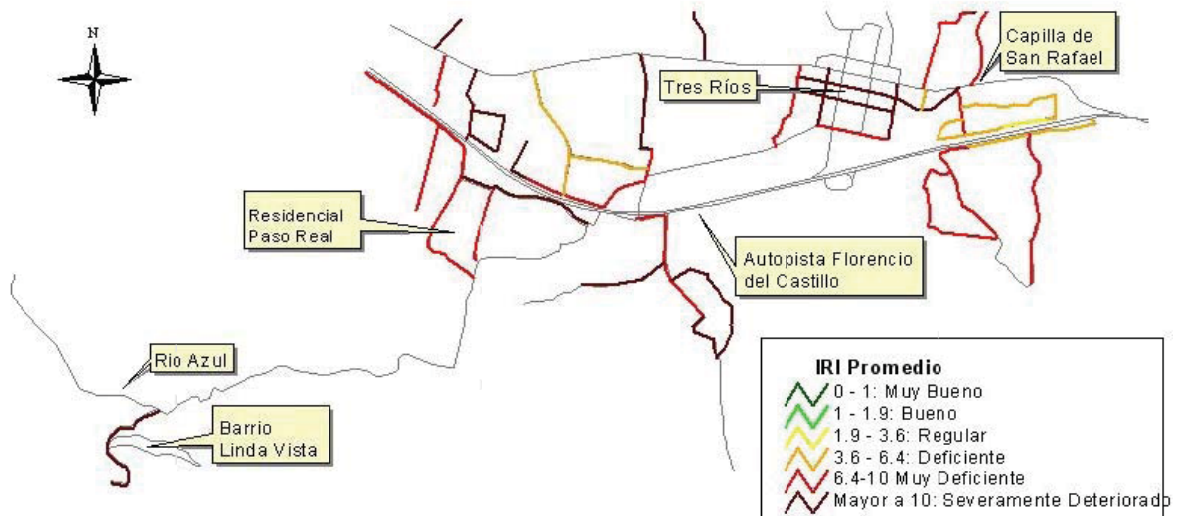


Figura 13. IRI promedio para los tramos del sector sur del cantón de La Unión.

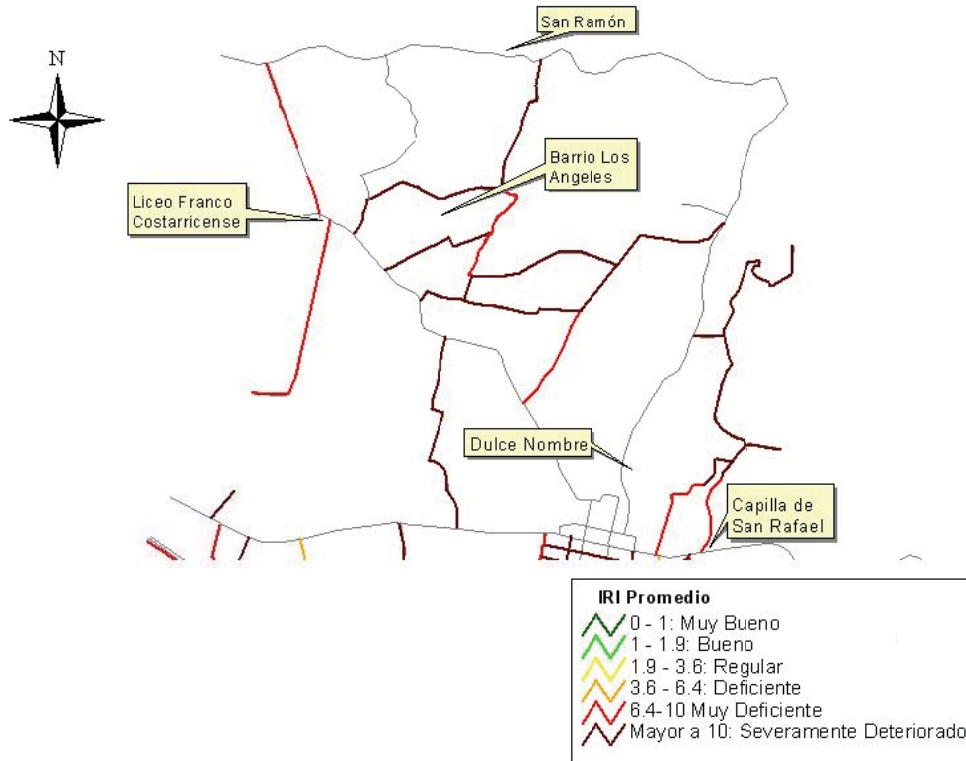


Figura 14. IRI promedio para los tramos del sector norte del cantón de La Unión

La distribución de la cantidad de tramos homogéneos y de los metros lineales asociados a cada categoría de IRI se muestra porcentualmente en la siguiente tabla y 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 y valores de IRI asociados a rutas de lastre. La irregularidad en la superficie de ruedo implica un mayor costo de operación para los usuarios, mayor tiempo de viaje y un viaje poco confortable sobre estos tramos, por otro lado ocasiona un deterioro acelerado de la estructura, debido a las cargas dinámicas que se ve sometida ocasionado por el golpeteo de los vehículos al pavimento al transitar por una ruta irregular.

Por otro lado es posible establecer que poco más de 10% de la longitud de las rutas evaluadas presentan un IRI promedio del tramo inferior a 6,4 m/km, lo cual se asocia a una condición superficial confortable para las velocidades de operación de una ruta cantonal.

Tabla 4. Cantidad tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de IRI promedio, sobre la red vial cantonal de La Unión evaluada.

Condición	Cantidad de Tramos homogéneos	Longitud (m)
Regular	1	296,6
Deficiente	7	4025,0
Muy Deficiente	23	14529,0
Severamente Deteriorado	33	21716,8
TOTAL	64	40567,4

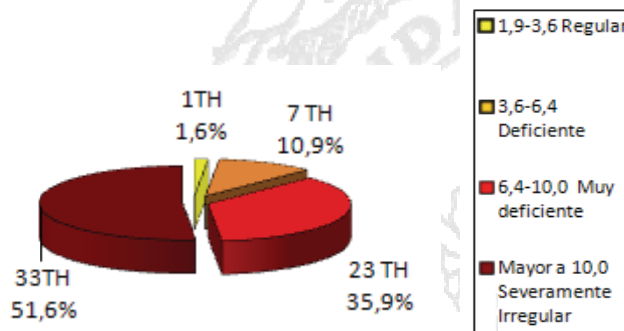


Figura 15. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el IRI promedio.

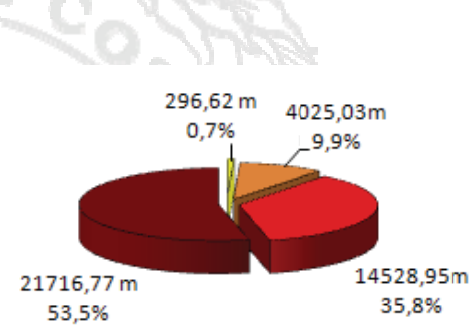


Figura 16. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según el IRI promedio.

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 y crítico de las condiciones en las que se encuentra cada tramo.

La deflexión e IRI característico dan una noción integral de la condición de los pavimentos de la RVC asfaltada de La Unión. 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:

Informe LM-PI-GM-03-12	Fecha de emisión: Febrero del 2012	Página 27 de 61
------------------------	------------------------------------	-----------------



$$d_k = m + 0.841s$$

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. Aumenta el porcentaje de kilómetros en condición severamente deteriorado de 37,3%, si se considera la condición promedio, a 61,5% de los kilómetros evaluados si se analiza la condición característica para cada tramo.

Un aspecto importante a rescatar, es que aún considerando la condición característica, se mantienen dos kilómetros (alrededor del 5,0%) con una buena condición estructural.

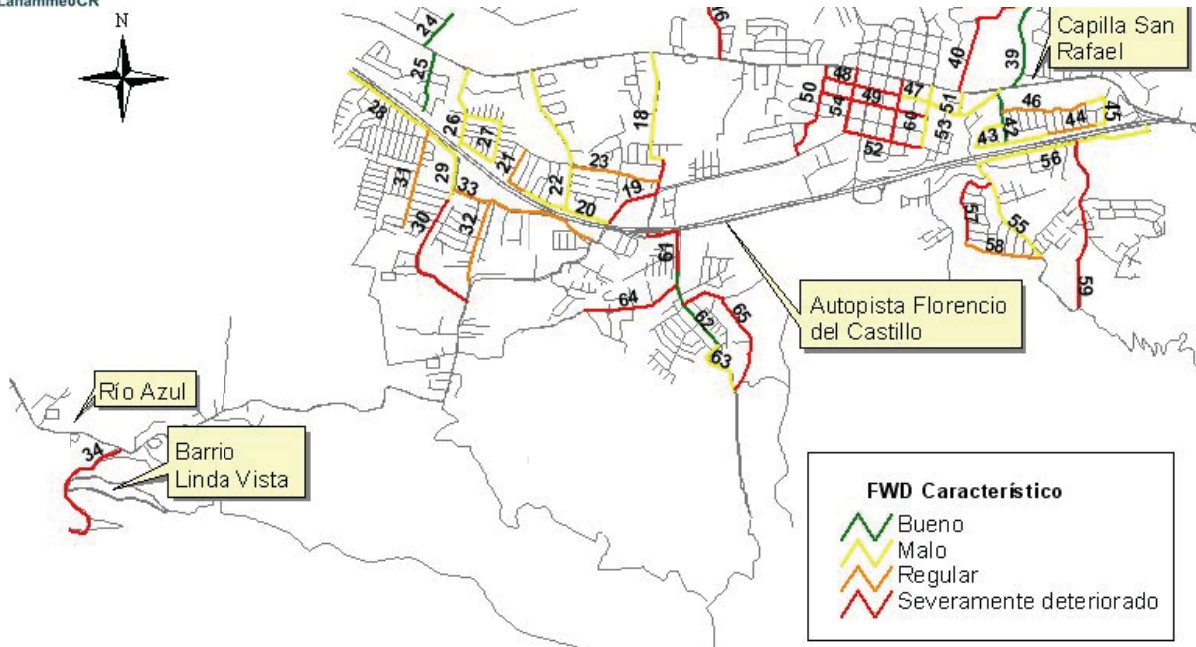


Figura 17. Deflectometría característica para los tramos del sector sur de La Unión.

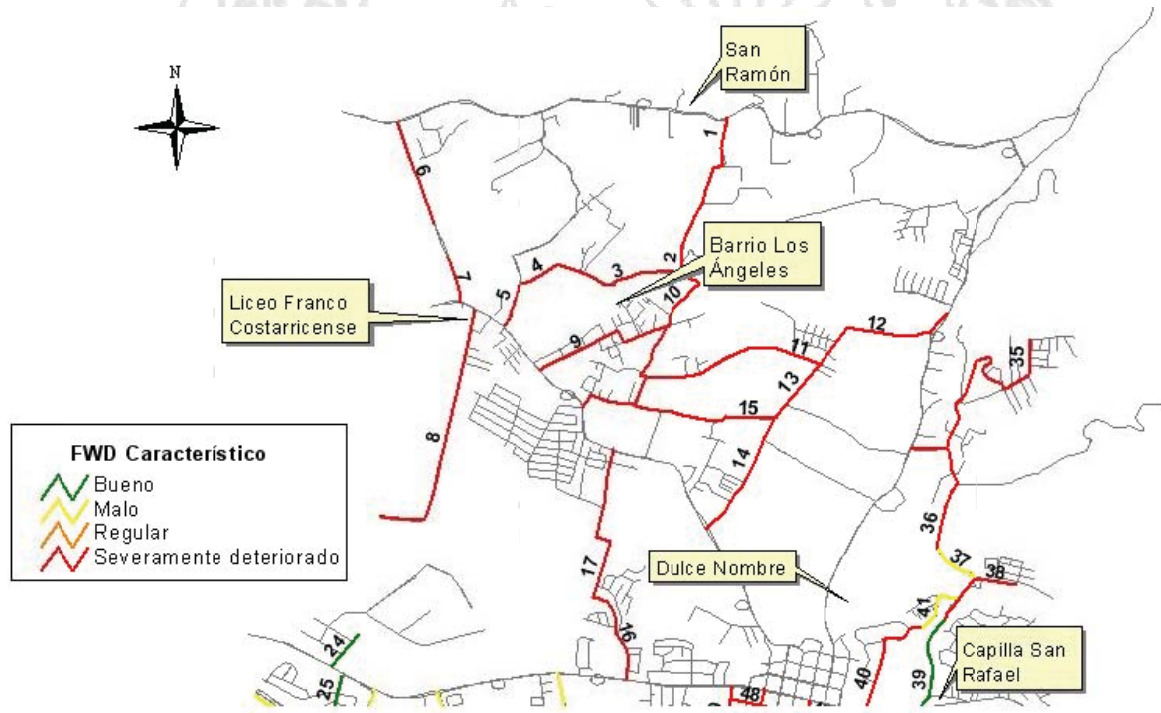


Figura 18. Deflectometría característica para los tramos del sector norte de La Unión.

Tabla 5. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de FWD característico, sobre la red vial cantonal de La Unión evaluada.

Condición	Cantidad de tramos	Longitud (m)
Bueno	5	2045,7
Regular	8	4210,2
Malo	17	9522,7
Severamente deteriorado	35	25175,2
Total	65	40953,8

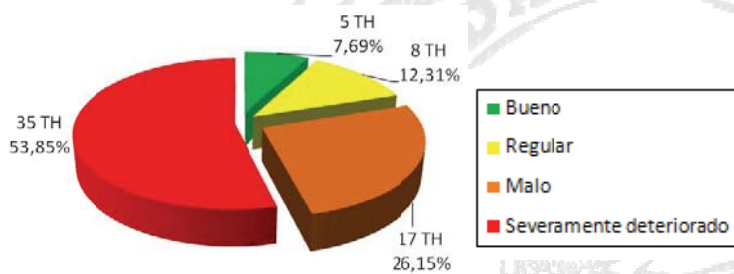


Figura 19. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el FWD característico.

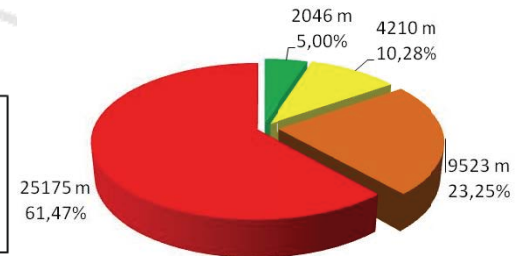


Figura 20. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según FWD característico.

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 muestran las figuras en las que es posible observar gráficamente los resultados obtenidos de IRI característico para las principales rutas de la vial cantonal en cuestión.

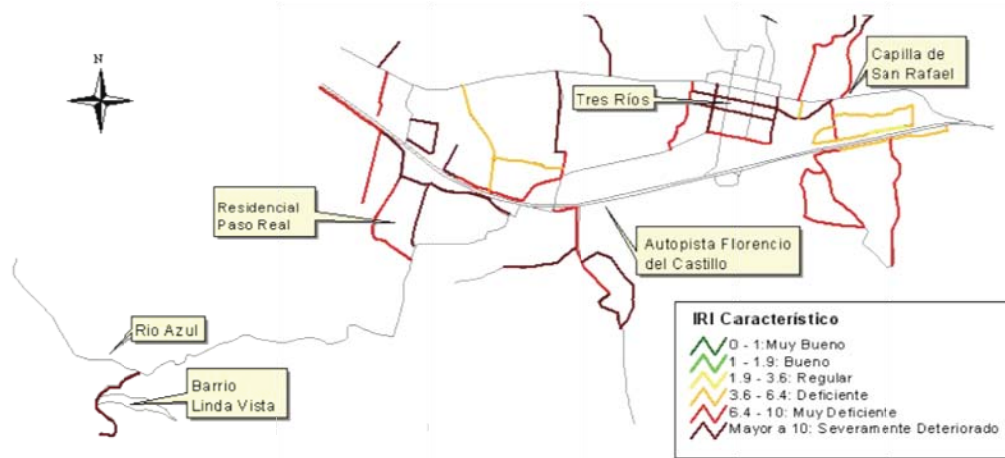


Figura 21. Clasificación de IRI característico para cada tramo homogéneo del sector sur.

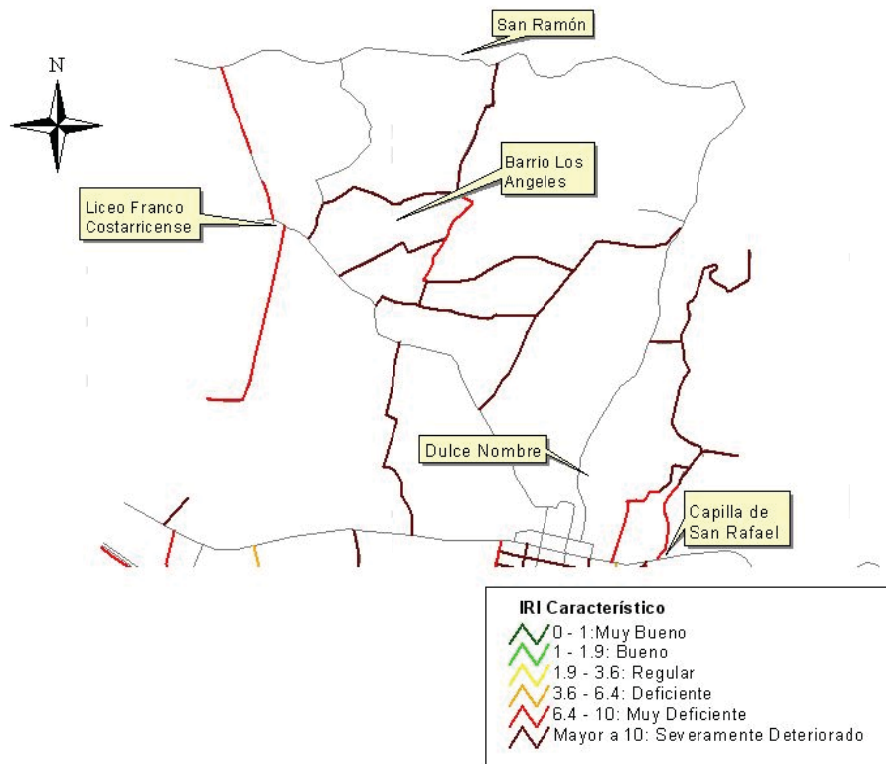


Figura 22. Clasificación de IRI característico para cada tramo homogéneo del sector norte.

Tabla 6. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de IRI característico, sobre la red vial cantonal de La Unión.

Condición	Cantidad de Tramos	Longitud (m)
Regular	1	296,6
Deficiente	7	4025,0
Muy Deficiente	21	13513,5
Severamente Deteriorado	35	22732,2
TOTAL	64	40567,4

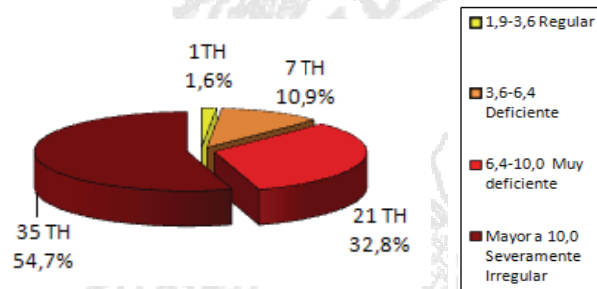


Figura 23. Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el IRI característico.

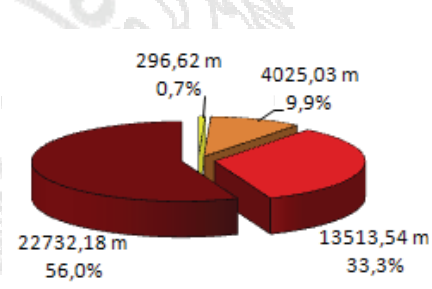


Figura 24. Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según IRI característico.

Si se realiza una comparación entre los datos de IRI promedio para cada tramo y los valores del IRI característico, la diferencia entre ambos no es significativa, esto debido a que los datos de IRI asociados a cada tramo son bastante homogéneos a través de este. Los únicos tramos que cambian de condición deficiente a severamente irregular son el tramos 32 y el 29.



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:

Donde:

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

D_x: El subíndice se encuentra asociado a un geófono específico, el que se encuentra bajo el plato de carga se asocia a D₁, los geófonos se que se encuentran a 300 mm (D₂), 600 mm (D₅) y 900 mm (D₆).

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 fueron 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.

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 La Unión. Donde un SAI 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. Además se realizó el análisis del SAI característico, el cual considera la dispersión de los datos, los cuales se presentan a manera resumen en la tabla 11.

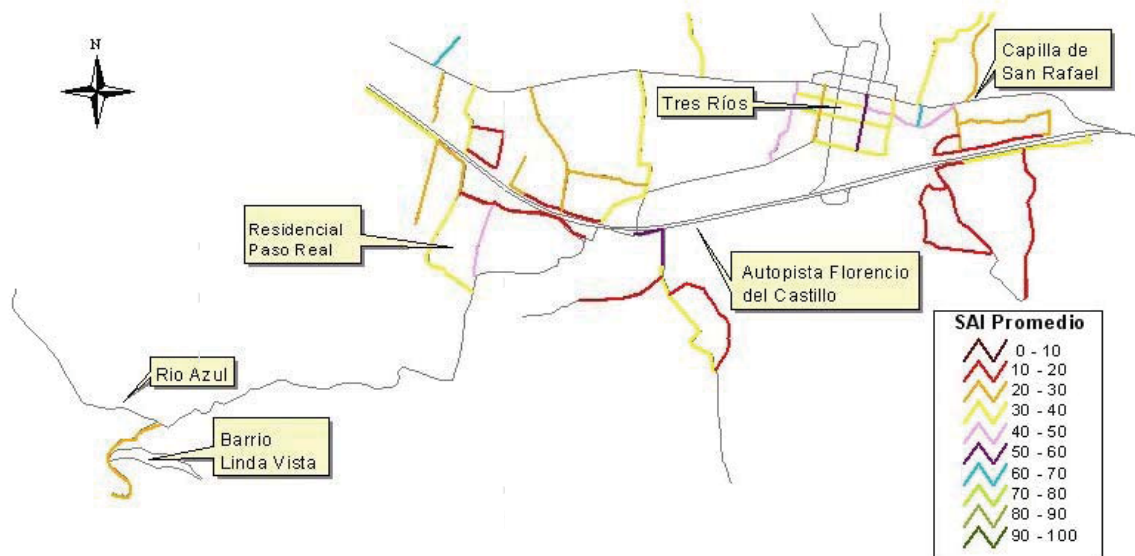


Figura 25. SAI promedio para los diferentes tramos del sector sur de las rutas en estudio.

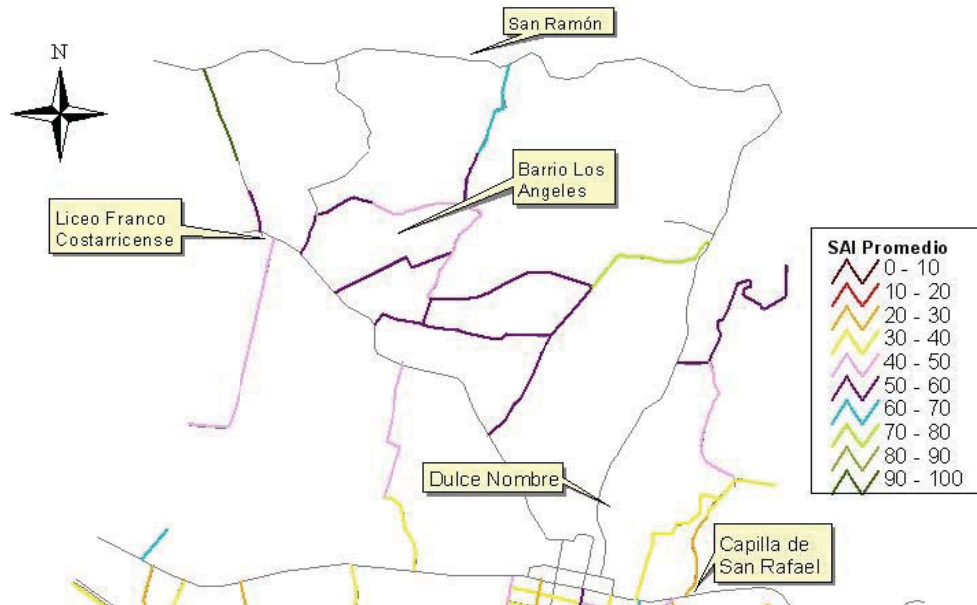


Figura 26. SAI promedio para los diferentes tramos del sector norte de las rutas en estudio.

Tabla 7. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de SAI promedio, sobre la red vial cantonal de La Unión.

Rango	Cantidad de TH	Longitud (m)	% Longitud
0-10			
10-20	11	7626,6	18,6%
20-30	12	6284,7	15,3%
30-40	16	9240,0	22,6%
40-50	9	6821,0	16,7%
50-60	12	8308,5	20,3%
60-70	3	1070,7	2,6%
70-80	1	951,4	2,3%
80-90			0,0%
90-100	1	650,9	1,6%
Total	65,00	40953,8	100,0%

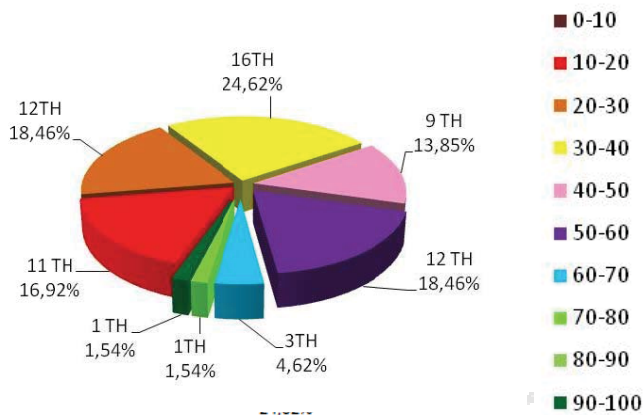


Figura 27. Gráfico de cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de SAI promedio.

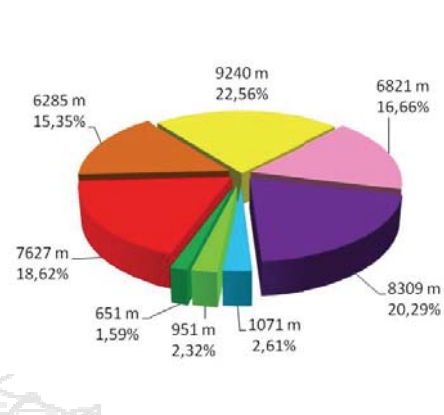


Figura 28. Gráfico de de metros asociados a diferentes rangos de SAI promedio.

Es posible observar que poco más de la tercera de la red posee condiciones intermedias de condición estructural, entre 40% y 60%, únicamente el 21,3% de los kilómetros evaluados poseen un SAI superior al 60%, lo que indica una capacidad estructural de regular a buena, mientras que el restante 42% posee condiciones bastante deficientes con un índice estructural (SAI) inferior al 40%.

Es importante destacar que no necesariamente un tramo con una baja deflectometría (buena capacidad estructural) tiene un alto valor de área. Si se realiza un análisis tanto de los valores de la deflectometría como del área del cuenco normalizada, se puede obtener una idea general de las condiciones de la estructura del pavimento, así como de la subrasante.

Según Orozco (2005) el área normalizada del cuenco da una idea de la resistencia del pavimento, mientras que la deflexión ofrece una idea de la resistencia de la capa subrasante. Por lo que es posible tener un valor de área baja y de deflexión baja, lo cual indicaría un pavimento débil y una subrasante resistente, o un área alta y una deflexión alta (pavimento resistente y subrasante débil).



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 los valores de máximo y mínimo se aplica la ecuación del PRI para caracterizar cada tramo, al igual que las necesarias para calcular el PRI promedio de cada tramo, así como el característico:

Donde:

$IRI_{\text{característico } j}$: 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.

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

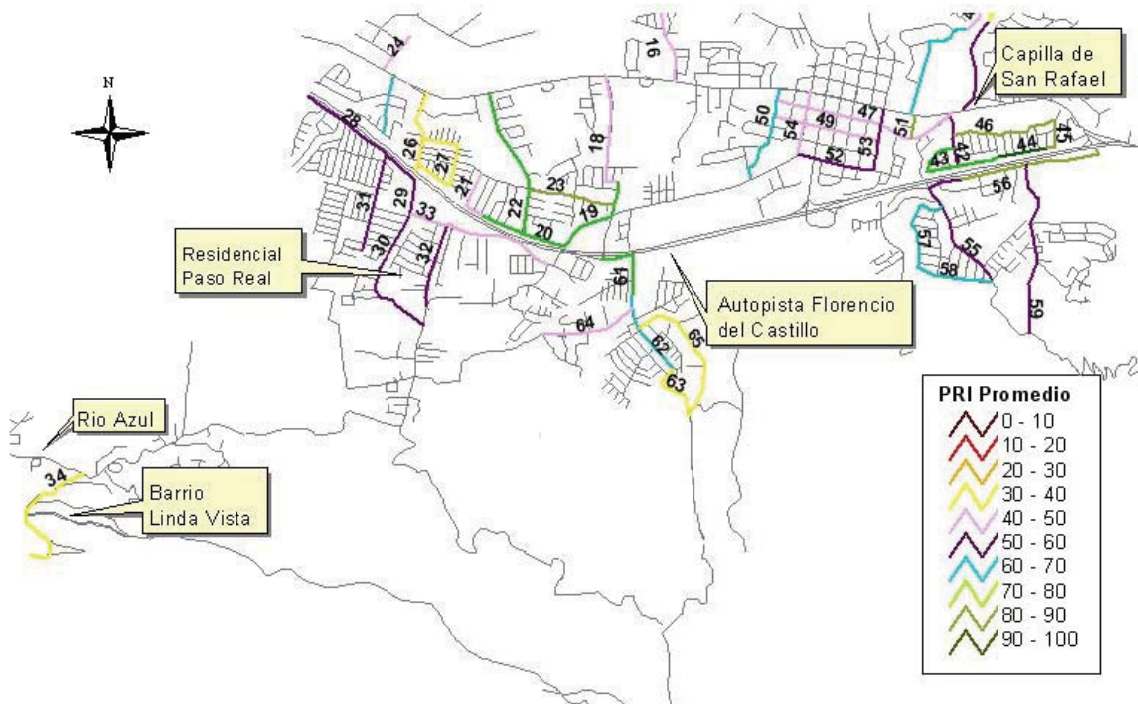


Figura 29. PRI promedio para los tramos del sector sur de la red evaluada.

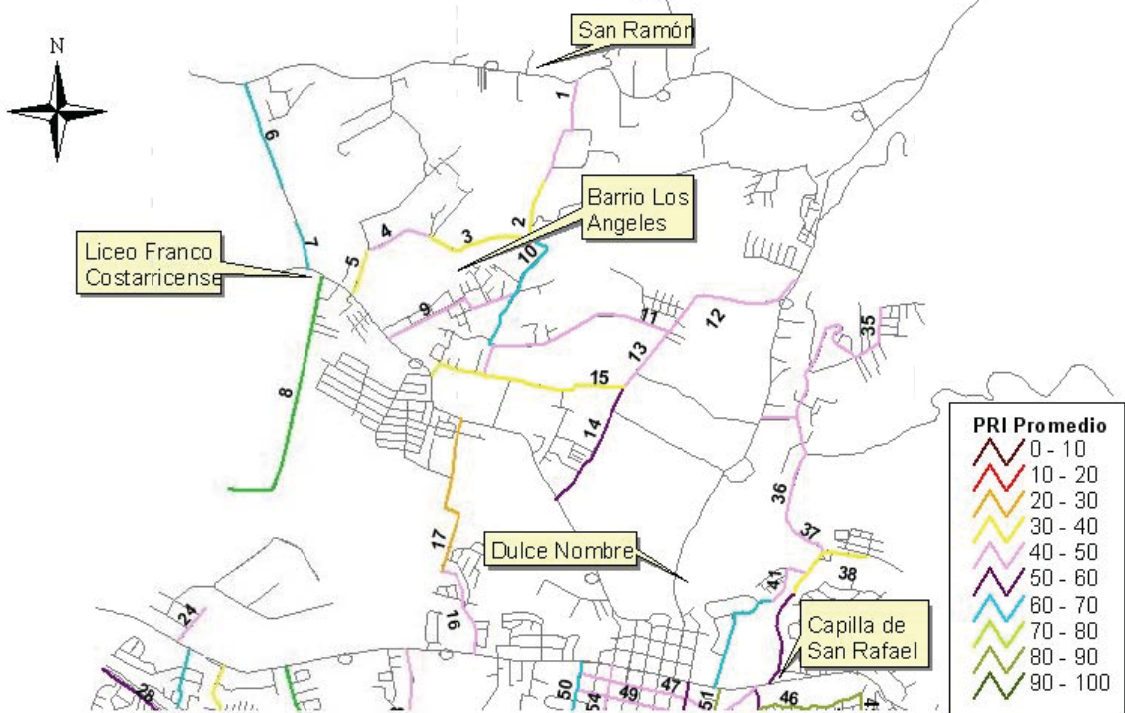


Figura 30 PRI promedio para los tramos del sector norte de la red evaluada

Tabla 8. Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de PRI promedio, sobre la red vial cantonal de La Unión evaluada.

Rango	Cantidad de tramos	Longitud (m)	% longitud
20-30	1	981,9	2,4%
30-40	10	6474,6	16,0%
40-50	20	13078,3	32,2%
50-60	12	7556,9	18,6%
60-70	9	5027,9	12,4%
70-80	6	4715,8	11,6%
80-90	5	2435,4	6,0%
90-100	1	296,6	0,7%
Total	64,00	40567,4	100,0%

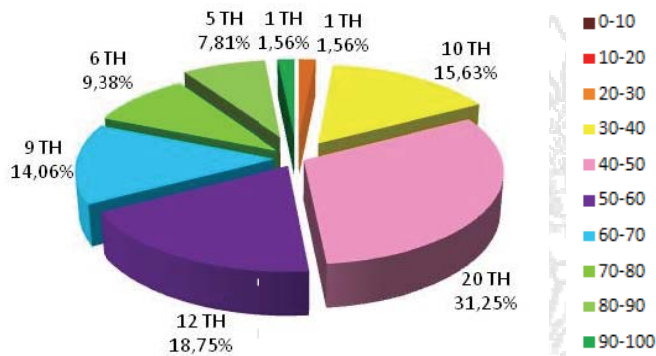


Figura 31. Gráfico de cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes rangos de PRI promedio.

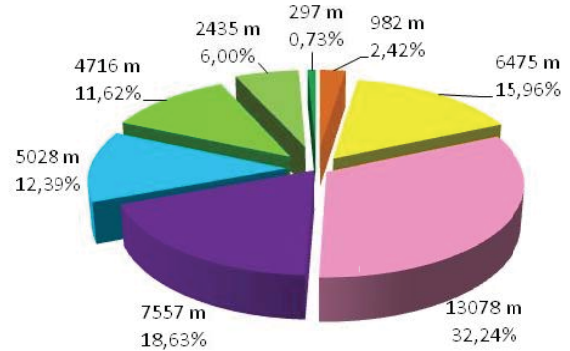


Figura 32. Gráfico de cantidad de metros asociados a diferentes rangos de PRI promedio.

Un 18% de las rutas evaluadas poseen un PRI promedio inferior al 40%, mientras que poco más del 50% presenta un índice de condición regular entre 40% y 60% y cerca del 30% 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.



Es importante mencionar que para en el análisis del PRI se cuenta con datos para 64 de los 65 tramos, ya que el origen del índice de condición PRI se basa en los datos de IRI y para el tramo 60 no fue posible realizar la medición.

En Tabla 11, se presenta de manera simplificada los resultados obtenidos del análisis, 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, pasen de un rango de datos a otro, empeorando la condición general de la red.

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 La Unión 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 adaptada a la utilizada por el Departamento de Transportes de New Brunswick (NBDOT), la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9. Categorización de la vía según valor de PCI

Categoría	PCI
Muy Bueno	80-100
Bueno	60-80
Regular	40-60
Pobre	20-40
Muy Pobre	0-20

(Fuente: Adaptado de NBDOT, 2005).

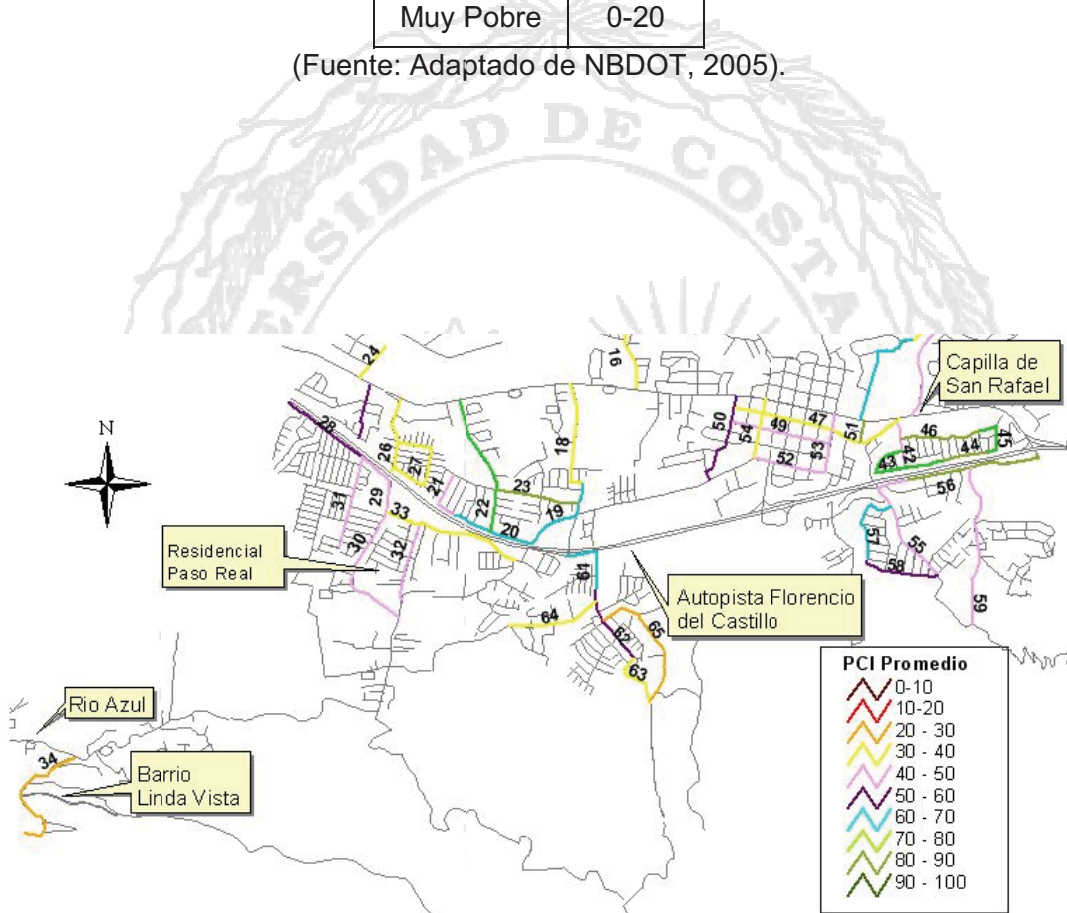


Figura 33. Rango de PCI promedio para los tramos homogéneos del sector sur de la red evaluada.

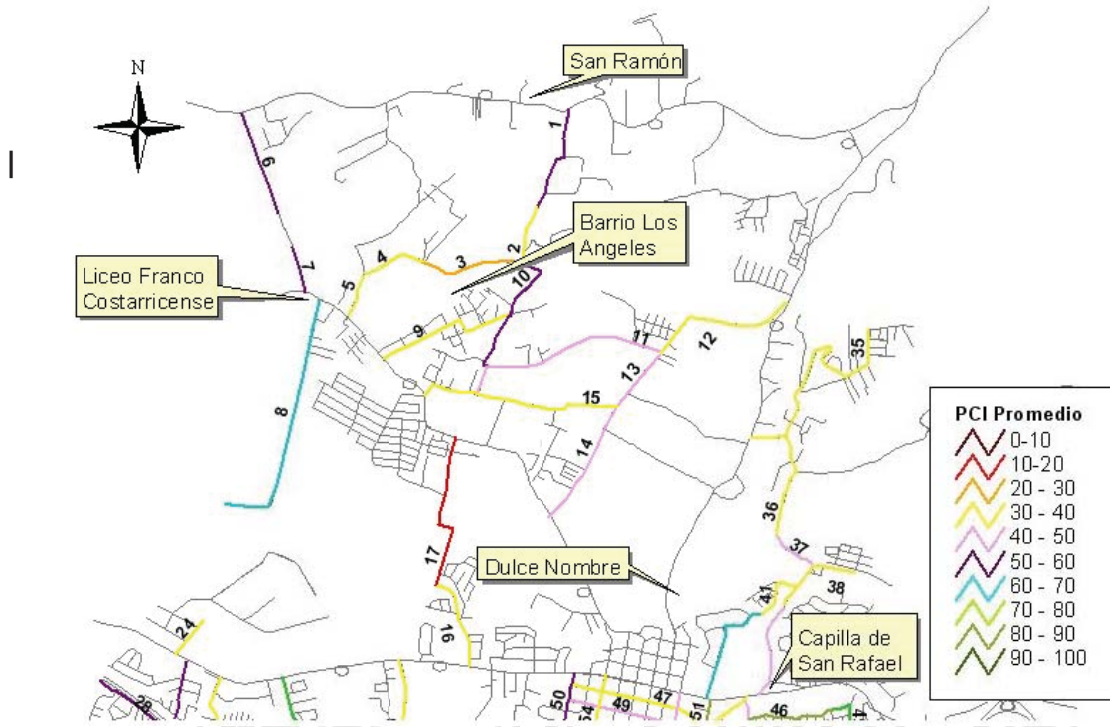


Figura 34. Rango de PCI promedio para los tramos homogéneos del sector norte de la red evaluada.

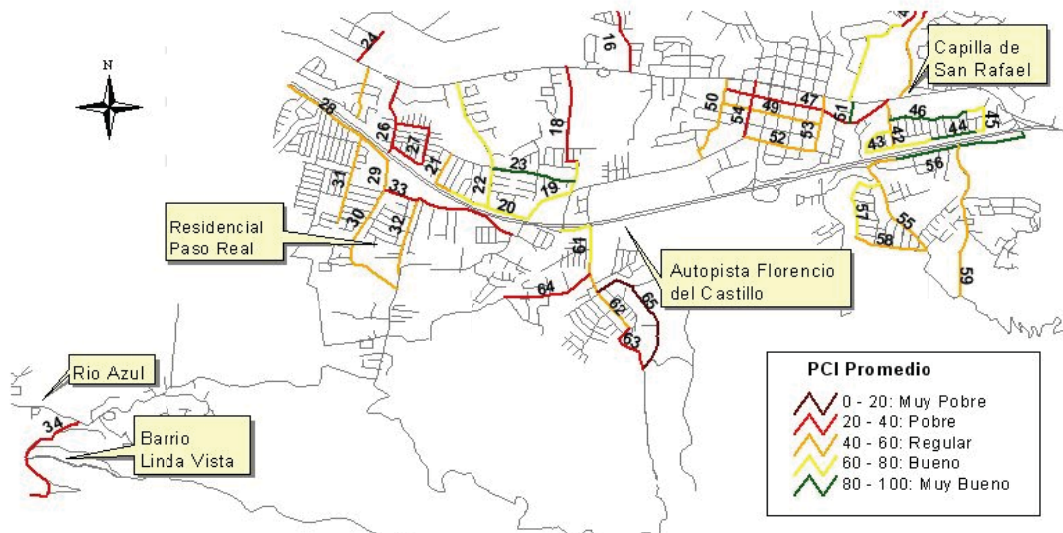


Figura 35. Categorías de condición para el PCI promedio para cada TH, sector sur.

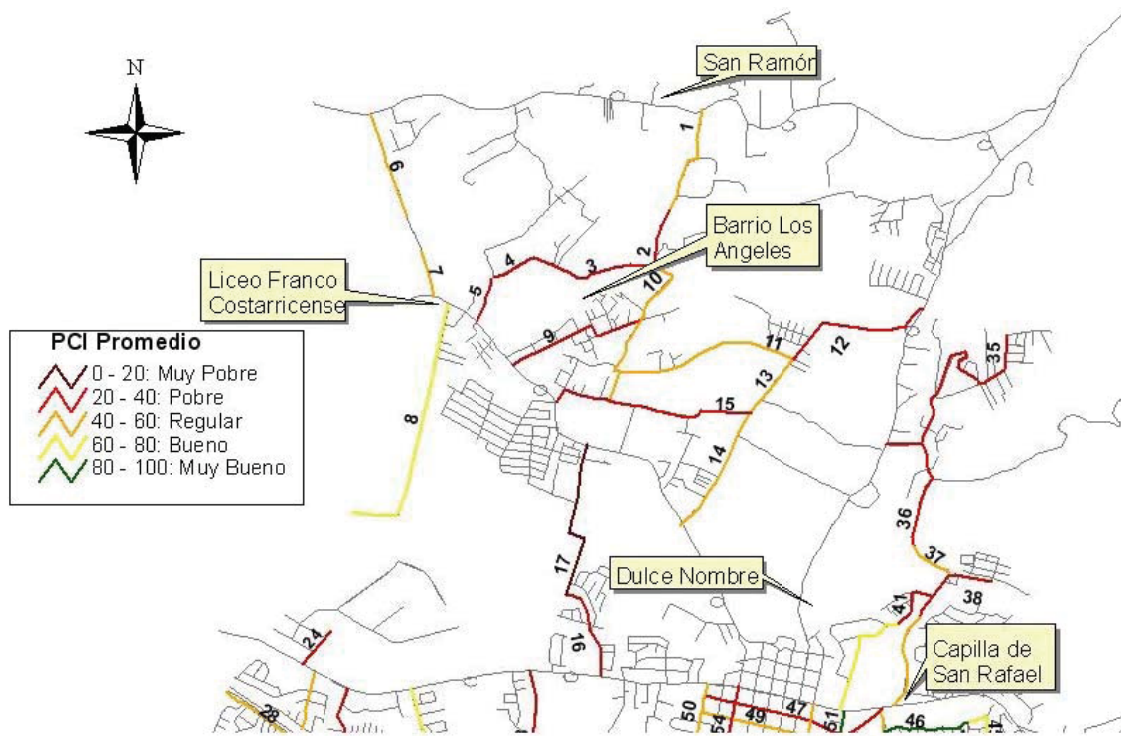


Figura 36. Categorías de condición para el PCI promedio para cada TH, sector norte.

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

Condición	Cantidad de Tramos	Longitud
Muy Pobre	1	981,9
Pobre	24	15896,6
Regular	25	14977,6
Bueno	9	6309,8
Muy Bueno	5	2401,5
Total	64	40567,4

Al analizar la tabla anterior y las figuras 37 y 38 es posible identificar que la condición regular y pobre predomina en las rutas analizadas, alcanzando poco más de las tres cuartas partes de los kilómetros evaluados. Por otro lado, alrededor de un 20% presenta buenas o muy buenas condiciones de PCI, mientras que únicamente 1,4 km de las rutas evaluadas presentan una condición muy pobre.

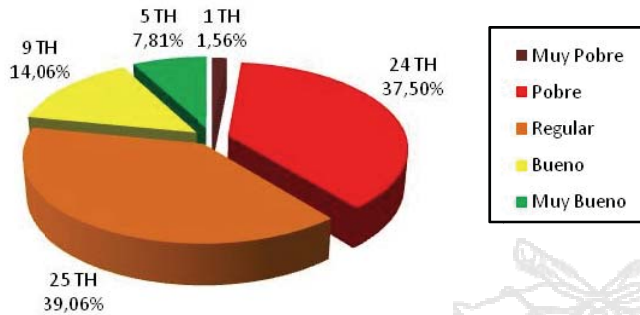


Figura 37. Cantidad de tramos homogéneos (TH) asociados a diferentes categorías de PCI promedio.

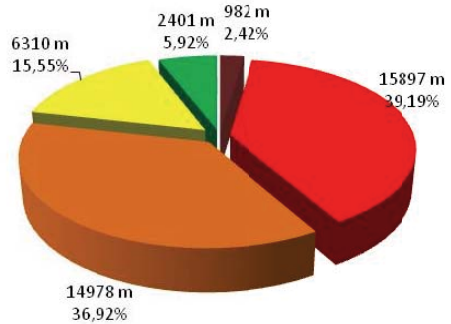


Figura 38. Cantidad de metros lineales asociados a diferentes categorías de PCI promedio

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.

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. Se incluyen tanto los valores promedio asociados como los valores característicos de cada tramo.

Tabla 11. Resumen de los datos asociados a cada tramo homogéneo (TH) en estudio.

N° TH	Long. (m)	Deflexión (FWD)			IRI			Índices de Condición promedio			Índices de Condición característico		
		Prom.	Desv.	Caract.	Prom.	Desv.	Caract.	PRI	SAI	PCI	PRI	SAI	PCI
1	665,1	109,1	27,4	132,2	11,1	2,3	11,3	45,5	62,0	53,7	34,3	47,1	40,7
2	359,5	156,3	26,1	178,3	12,2	3,4	12,5	39,3	58,3	31,3	23,2	41,9	32,6
3	650,9	154,4	31,7	181,0	13,1	2,4	13,3	34,3	46,0	28,6	22,8	34,5	28,6
4	388,8	197,8	48,3	238,4	11,5	2,4	11,7	43,3	51,0	37,5	31,7	41,9	36,8
5	265,8	176,4	23,6	196,2	12,1	3,7	12,4	39,7	54,6	30,9	22,2	46,7	34,4
6	650,9	89,8	52,8	134,1	8,3	4,8	8,7	61,7	93,1	50,1	38,6	79,1	58,8
7	285,2	97,1	36,4	127,7	8,5	1,1	8,6	60,4	50,4	57,8	55,1	40,7	47,9
8	1559,4	112,1	33,7	140,5	6,5	4,5	6,9	71,6	47,2	60,8	50,0	38,3	44,2
9	898,3	181,7	40,4	215,6	11,1	3,3	11,4	45,5	54,4	37,7	30,0	35,0	32,5
10	848,5	151,6	44,5	189,0	8,1	4,8	8,5	62,8	47,4	51,4	40,0	38,1	39,1
11	1295,5	107,3	51,3	150,4	11,1	2,1	11,3	45,6	56,3	40,5	35,4	45,8	40,6
12	951,4	187,5	36,4	218,1	11,3	2,6	11,5	44,6	74,9	38,4	32,1	42,5	37,3
13	404,3	170,4	45,5	208,7	10,6	3,2	10,9	48,5	52,2	40,8	33,1	38,4	35,8
14	804,3	135,6	42,1	171,0	10,0	2,6	10,2	51,8	50,4	45,5	39,2	38,6	38,9
15	1233,9	136,6	47,4	176,4	12,4	3,0	12,7	38,0	57,9	30,8	23,6	36,5	30,0
16	579,3	128,1	59,7	178,3	10,7	5,2	11,1	48,1	37,2	35,6	23,1	20,1	21,6
17	981,9	199,9	62,9	252,8	15,3	2,8	15,5	22,0	41,5	15,3	8,7	29,4	19,1
18	725,0	74,6	20,6	91,9	10,5	4,4	10,9	48,9	30,1	38,3	27,7	12,3	20,0
19	566,3	93,8	26,7	116,3	6,6	2,0	6,7	71,4	34,7	66,7	61,9	25,5	43,7
20	556,9	76,9	27,8	100,3	6,8	3,4	7,1	70,2	17,0	62,0	53,8	6,1	30,0
21	330,7	63,4	17,7	78,3	11,0	1,9	11,2	46,0	24,1	41,4	36,7	15,1	25,9
22	910,5	75,6	20,8	93,1	5,5	2,0	5,7	77,3	25,8	72,5	67,8	16,4	42,1
23	539,7	62,8	17,9	77,8	3,7	1,2	3,8	87,5	24,7	84,5	81,6	13,9	47,7
24	263,9	42,8	15,6	55,9	10,9	3,1	11,1	46,9	64,7	39,6	32,3	46,7	39,5
25	355,0	58,3	15,3	71,1	8,1	4,8	8,5	62,6	28,1	51,1	39,7	15,5	27,6
26	502,5	87,2	19,9	103,9	12,7	1,8	12,9	36,4	32,3	32,0	27,7	22,3	25,0
27	692,3	95,9	19,8	112,5	12,2	2,3	12,4	39,5	11,8	33,9	28,4	0,0	14,2
28	597,6	81,9	23,4	101,6	8,8	2,1	8,9	58,9	36,0	54,0	49,1	25,6	37,4
29	499,5	90,1	19,8	106,8	9,9	4,6	10,3	52,6	21,3	41,5	30,5	11,4	21,0
30	828,7	83,3	41,0	117,8	9,7	2,9	10,0	53,4	31,9	46,4	39,4	20,2	29,8
31	595,1	69,8	19,9	86,5	9,6	2,2	9,8	53,9	28,0	48,6	43,3	20,6	32,0
32	516,0	64,7	24,0	84,9	9,8	4,1	10,2	52,8	42,4	43,0	33,2	24,2	28,7
33	917,4	67,9	22,1	86,5	11,4	2,9	11,6	44,1	10,7	37,3	30,5	0,0	15,2



N°	Long. (m)	Deflexión (FWD)			IRI			Índices de Condición promedio			Índices de Condición característico		
		Prom.	Desv.	Caract.	Prom.	Desv.	Caract.	PRI	SAI	PCI	PRI	SAI	PCI
34	901,4	99,7	20,5	117,0	12,7	2,8	12,9	36,5	26,2	29,8	23,1	14,4	18,7
35	1542,9	162,4	45,5	200,6	11,7	4,7	12,0	42,4	52,2	31,3	20,1	35,7	27,9
36	673,2	165,6	50,6	208,1	11,1	2,6	11,3	45,8	41,6	39,5	33,3	25,4	29,3
37	297,1	89,8	30,1	115,1	11,0	2,4	11,2	46,4	42,3	40,6	34,9	28,3	31,6
38	553,2	94,4	34,1	123,0	12,4	2,1	12,6	37,9	35,7	32,9	27,9	22,1	25,0
39	585,7	67,8	6,4	73,1	9,7	3,0	10,0	53,4	29,1	46,1	38,9	15,2	27,0
40	734,5	107,5	24,8	128,4	6,9	2,2	7,1	69,2	30,4	64,1	59,0	25,0	42,0
41	331,5	73,4	33,2	101,4	11,4	2,2	11,6	43,7	30,4	38,4	33,0	25,0	29,0
42	312,1	50,5	12,0	60,6	9,4	6,4	9,9	55,4	23,5	40,1	24,7	15,3	20,0
43	679,1	93,1	23,2	112,7	5,5	2,2	5,7	77,5	19,8	72,2	66,9	10,5	38,7
44	296,6	69,3	17,9	84,4	3,3	1,3	3,4	90,2	16,5	87,1	84,0	11,9	47,9
45	330,6	89,3	5,5	93,9	4,1	2,3	4,3	85,4	28,3	79,9	74,5	16,2	45,3
46	530,4	63,8	18,5	79,4	4,3	1,2	4,4	84,0	27,2	81,0	78,1	17,0	47,6
47	682,4	78,2	27,4	101,3	11,4	5,4	11,8	44,1	46,6	31,1	18,1	33,0	25,6
48	472,6	127,5	39,7	160,9	11,7	3,0	11,9	42,2	37,6	35,0	27,8	20,4	24,1
49	663,6	156,5	58,5	205,8	10,4	2,5	10,6	49,6	31,3	43,7	37,8	19,2	28,5
50	611,6	135,8	46,0	174,5	7,3	3,1	7,6	67,1	40,7	59,8	52,4	29,1	40,8
51	141,7	88,0	1,6	89,3	4,8	0,6	4,8	81,4	66,5	80,1	78,7	61,4	70,0
52	377,7	92,7	24,3	113,1	10,2	2,6	10,4	50,7	39,8	44,4	38,2	26,4	32,3
53	478,5	108,7	42,0	143,9	9,5	2,7	9,8	54,5	35,6	48,1	41,7	24,8	33,3
54	394,2	143,6	49,2	185,0	11,4	2,4	11,6	43,7	28,8	38,1	32,4	16,1	24,3
55	898,6	85,0	26,6	107,4	8,7	4,3	9,1	59,0	20,0	48,8	38,5	6,6	22,6
56	893,1	64,9	29,9	90,1	3,7	1,2	3,8	87,8	30,3	85,0	82,3	6,6	44,4
57	528,9	125,3	19,2	141,5	7,2	2,5	7,4	68,0	14,2	62,1	56,2	6,6	31,4
58	484,2	67,0	13,8	78,6	8,1	3,3	8,4	62,6	17,5	54,6	46,7	10,8	28,7
59	1063,3	116,5	44,5	153,9	8,8	5,6	9,3	58,6	11,5	45,1	31,7	0,0	15,8
60	386,4	138,2	34,7	167,3	-	-	-	-	54,0	-	-	41,1	-
61	443,8	96,2	62,0	148,4	6,7	2,1	6,9	70,4	50,1	65,3	60,2	35,5	47,9
62	529,1	62,0	12,5	72,4	7,7	2,9	8,0	64,8	31,2	57,8	50,8	17,8	34,3
63	406,8	91,8	21,9	110,2	12,5	2,1	12,7	37,7	33,9	32,6	27,5	19,5	23,5
64	601,0	130,8	29,7	155,8	11,6	3,3	11,9	42,6	18,9	34,6	26,6	2,3	14,4
65	908,3	101,8	39,7	135,2	13,1	5,7	13,6	34,1	16,2	20,5	6,9	6,7	6,8

TH: Tramo homogéneo.

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 Amador y 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:

$$ESAL_{\text{día}} = \% \text{tipodevehículo} * TPDA * FC$$

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

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

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 $ESAL_{\text{día}}$ es necesario re-calcular 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 La Unión A pesar de que los conteos fueron realizados, no fue posible para la Unidad de Gestión Municipal, conocer el sitio específico donde estos se realizaron, sin embargo, la cantidad de vehículos diarios si se conoce, la cual es inferior de 5000 vehículos diarios para todos los conteos vehiculares.

Es necesario conocer el valor de los ejes equivalentes (ESALs) característico de la red, principalmente por el hecho de que las curvas de deterioro que se tienen para nuestro país son diferentes según la cantidad de ESALs esperados en la ruta en estudio. Utilizando valores críticos de LDF (igual a 1), una distribución direccional de $D_s=0.7$, un porcentaje de crecimiento igual al 4% y un periodo de 20 años se obtiene el valor de los ejes equivalentes para un TPD inferior a 5000 vehículos se estima una cantidad de ejes equivalentes inferior a 12,8 millones, por lo que la curva de deterioro utilizada se presenta en la Tabla 12.

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 facilita el poder determinar el estado del pavimento con el pasar del tiempo, de manera aproximada cuando no se cuenta con información directa acerca de este activo. Estas curvas son fundamentales para poder establecer un plan quinquenal de inversión, ya que permite estimar el deterioro de un pavimento con el pasar del tiempo, información indispensable para estimar el tipo de intervención que se requerirá en un futuro.

La curva utilizada 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 12. 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 en la siguiente sección

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 39.

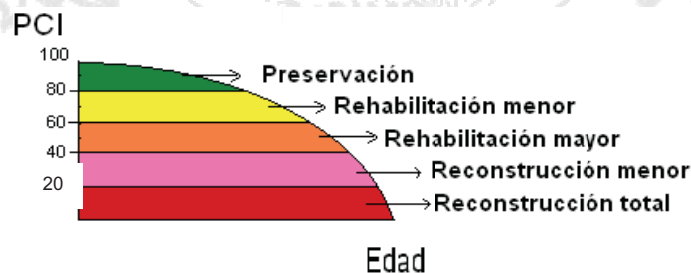


Figura 39. Ventanas de Operación
(Fuente: Adaptación de NBDOT, 2005).



De acuerdo con los valores de PCI presentadas en la tabla 13, donde se resumen las características generales de cada tramo homogéneo, así como las ventanas de operación mostradas 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. En las figura 41 y 42 se observa de manera gráfica el tipo de intervención requerida para los diferentes tramos homogéneos analizados para el cantón de La Unión, 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 Parcial:** la superficie de ruedo es reemplazada por una nueva, además se intervienen, sustituyendo o mejorando, parte de las capas granulares, según lo que establezca el diseño formal y la condición de estas capas en sitio.
- **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.

Tabla 13: Tipo de intervención requerida para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de La Unión

N° TH	Long. (m)	PCI _{prom.}	Tipo de intervención
1	665,06	53,72	Rehabilitación mayor
2	359,51	31,26	Reconstrucción menor
3	650,92	28,55	Reconstrucción menor
4	388,8	37,45	Reconstrucción menor
5	265,77	30,94	Reconstrucción menor
6	650,87	50,14	Rehabilitación mayor
7	285,21	57,76	Rehabilitación mayor
8	1559,36	60,78	Rehabilitación menor
9	898,25	37,73	Reconstrucción menor
10	848,53	51,41	Rehabilitación mayor
11	1295,48	40,54	Rehabilitación mayor
12	951,4	38,36	Reconstrucción menor
13	404,26	40,81	Rehabilitación mayor
14	804,33	45,52	Rehabilitación mayor
15	1233,87	30,8	Reconstrucción menor
16	579,33	35,56	Reconstrucción menor
17	981,89	15,34	Reconstrucción total
18	724,98	38,31	Reconstrucción menor
19	566,27	66,67	Rehabilitación menor
20	556,85	61,97	Rehabilitación menor
21	330,73	41,38	Rehabilitación mayor
22	910,46	72,53	Rehabilitación menor
23	539,74	84,54	Preservación
24	263,94	39,57	Reconstrucción menor
25	354,95	51,12	Rehabilitación mayor
26	502,45	32,02	Reconstrucción menor
27	692,34	33,94	Reconstrucción menor
28	597,61	53,98	Rehabilitación mayor
29	499,45	41,53	Rehabilitación mayor
30	828,65	46,37	Rehabilitación mayor
31	595,08	48,57	Rehabilitación mayor
32	515,96	42,99	Rehabilitación mayor

N° TH	Long. (m)	PCI _{prom.}	Tipo de intervención
33	917,39	37,29	Reconstrucción menor
34	901,36	29,78	Reconstrucción menor
35	1542,89	31,26	Reconstrucción menor
36	673,22	39,53	Reconstrucción menor
37	297,09	40,6	Rehabilitación mayor
38	553,23	32,9	Reconstrucción menor
39	585,67	46,13	Rehabilitación mayor
40	734,51	64,1	Rehabilitación menor
41	331,51	38,38	Reconstrucción menor
42	312,06	40,06	Rehabilitación mayor
43	679,13	72,23	Rehabilitación menor
44	296,62	87,06	Preservación
45	330,57	79,91	Rehabilitación menor
46	530,42	81,04	Preservación
47	682,44	31,11	Reconstrucción menor
48	472,64	35,03	Reconstrucción menor
49	663,64	43,71	Rehabilitación mayor
50	611,57	59,75	Rehabilitación mayor
51	141,65	80,05	Preservación
52	377,71	44,41	Rehabilitación mayor
53	478,53	48,13	Rehabilitación mayor
54	394,2	38,05	Reconstrucción menor
55	898,58	48,78	Rehabilitación mayor
56	893,06	85,04	Preservación
57	528,91	62,1	Rehabilitación menor
58	484,23	54,62	Rehabilitación mayor
59	1063,27	45,11	Rehabilitación mayor
60	386,39	-	-
61	443,75	65,31	Rehabilitación menor
62	529,08	57,8	Rehabilitación mayor
63	406,82	32,62	Reconstrucción menor
64	601,02	34,58	Reconstrucción menor
65	908,3	20,47	Reconstrucción menor

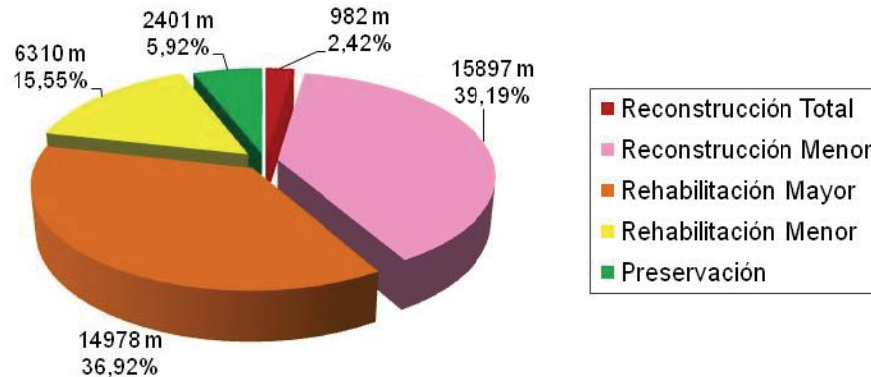


Figura 40: Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal evaluada en La Unión.

Al analizar los datos de PCI calculados para las principales rutas de la red vial cantonal de La Unión es posible identificar que cerca del 50% de las rutas analizadas requieren rehabilitación (menor o mayor), mientras que poco más del 40% requiere algún tipo de reconstrucción, siendo la más común la reconstrucción menor, en la que es necesario reemplazar parcialmente la estructura del pavimento. Por otra parte es necesario destacar que hay cerca de 2,5 km que requieren preservación, el cual es un tipo de intervención de bajo costo que permite mantener a los tramos 23, 44,46 y 56 en buenas condiciones por una mayor cantidad de tiempo. Según esta metodología de análisis, únicamente el tramo 17 requiere una reconstrucción total.

En las siguientes figuras se observa de manera gráfica el tipo de intervención sugerida para cada uno de los tramos, basados en el estado estructural y funcional de cada uno de ellos.

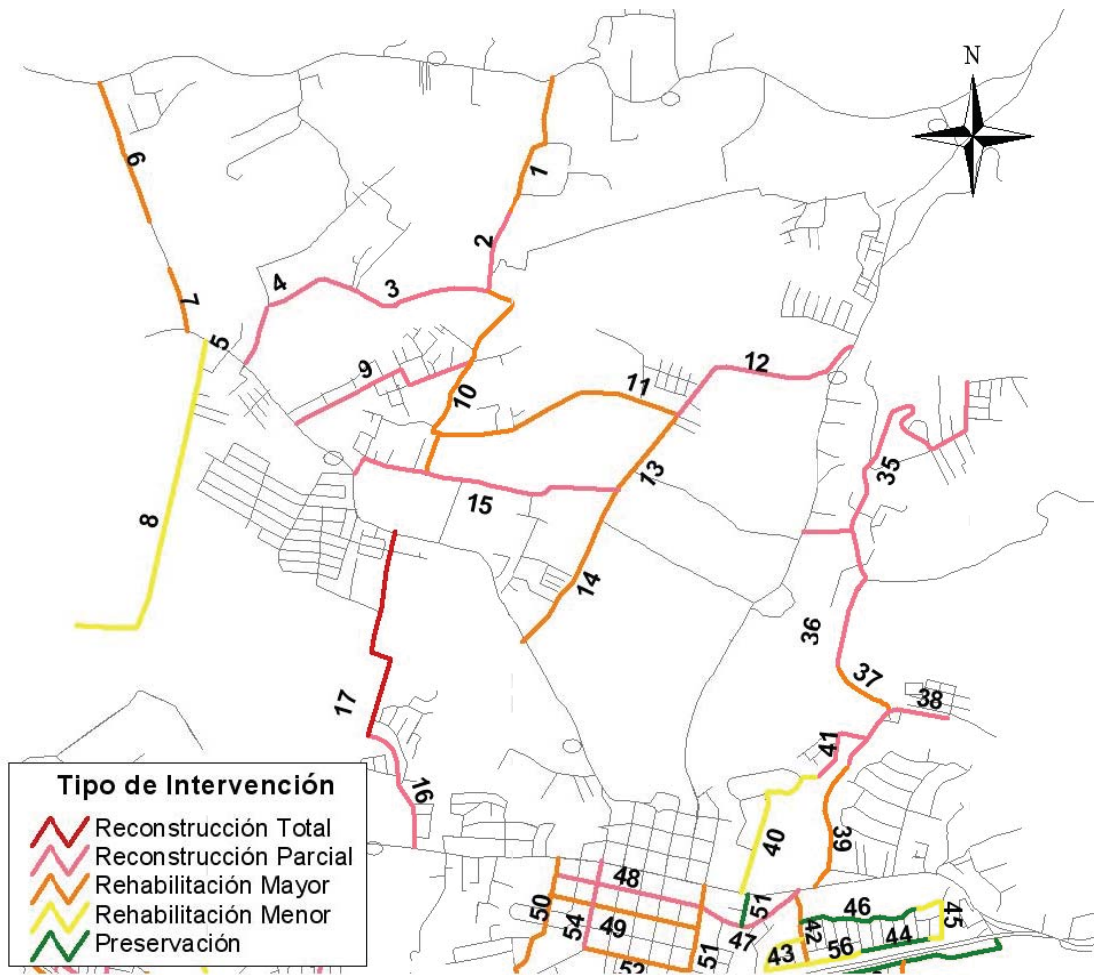


Figura 41. Tipo de intervención necesaria para cada tramo homogéneo según la condición actual, sector norte.

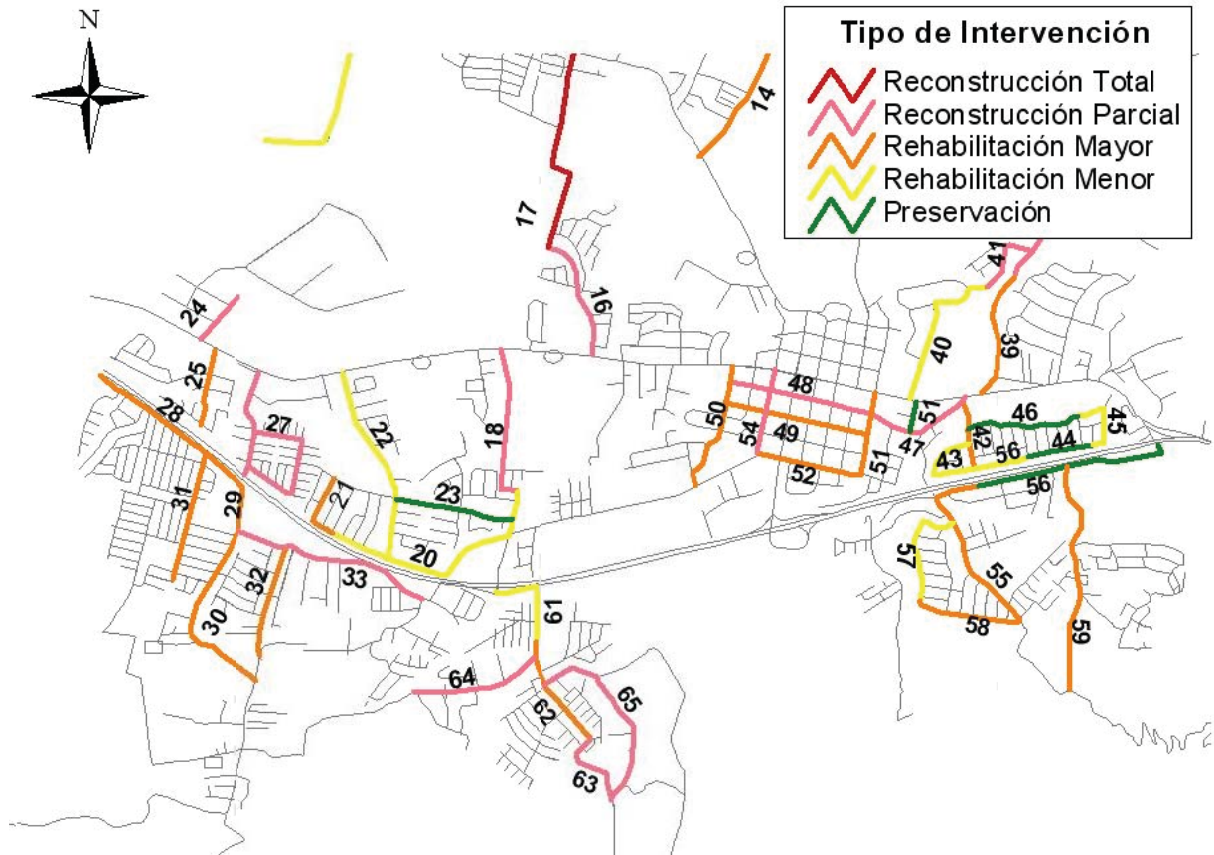


Figura 42. Tipo de intervención necesaria para cada tramo homogéneo según la condición actual, sector sur.



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 elásticos 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 La Unión.

Es importante recalcar que al ser costos de estructuras tipo son generados para un análisis de costos a nivel estratégico, para presupuestar o definir con exactitud el costo específico para un proyecto se debe realizar tras un análisis y diseño formal del tipo de intervención para cada proyecto, es decir, realizar un análisis a nivel de proyecto.

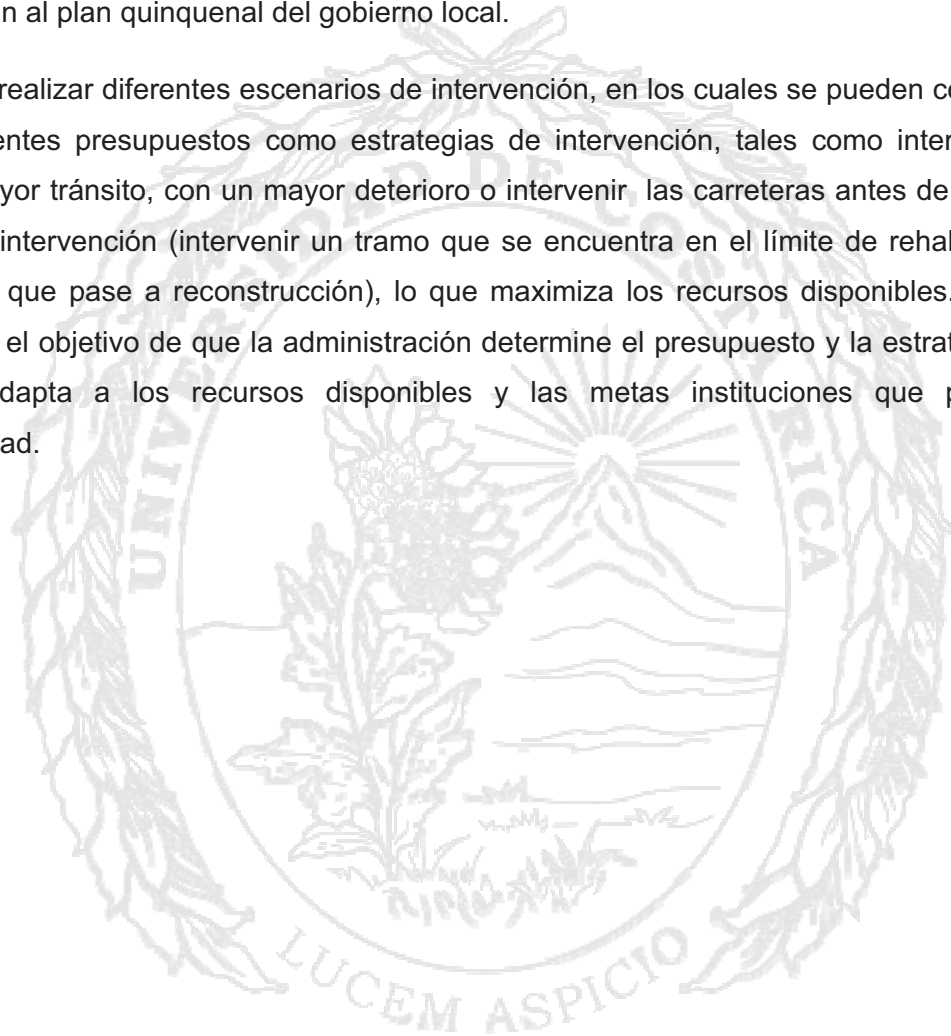
Los costos se obtienen realizando una investigación del costo que representa para la municipalidad aplicar cada uno de las intervenciones. Los costos totales de cada intervención se estiman al determinar los costos totales de intervenciones realizadas con anterioridad, ya sea por administración o por 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 los tramos homogéneos de 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. Sin embargo, es importante destacar que aproximadamente 9,1 km de las rutas evaluadas posee una buena capacidad estructural.

En cuanto a la capacidad funcional de la red, se tiene que más del 50% de la red tiene un IRI superior a 10 m/km, lo que implica una irregularidad superficial muy alta, por consiguiente, 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 65 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 La Unión, se obtiene que más de la mitad de los kilómetros de los tramos evaluados requieren una rehabilitación (15,4 km requieren rehabilitación menor y aproximadamente 15 km rehabilitación mayor), lo que representa una sobrecapa asfáltica que proporcione el soporte requerido para soportar las cargas de tránsito con un nivel de servicio aceptable. De las rutas evaluadas cerca de 16 km requieren reconstrucción menor o parcial, lo cual implica intervenir parte de las capas granulares de la estructura, mientras que menos de 1 km requieren una reconstrucción total, lo que implica un reemplazo total de la estructura del pavimento. Por otro lado únicamente 2,4 km evaluados poseen la condición funcional y estructural para aplicar una intervención del tipo preservación.



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 en el momento de ejecutar los ensayos de laboratorio y campo, además 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 40 al 45) que califiquen para una rehabilitación menor, con esto evitar que pasen a tener un PCI menor que 40 donde lo que se requeriría es una reconstrucción mayor.

Es necesario que el municipio se 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 actual presentadas en el Informe LM-PI-PM-08-09 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 La Unión. 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 La Unión, Heredia. Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica – San José, Costa Rica. Febrero, 2009.
- Orozco Santoyo R. V. Evaluación de Pavimentos con Métodos no Destructivos. Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 2005
- 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.

