



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PITRA

Programa de
Infraestructura
del Transporte

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL
CANTONAL:

ANÁLISIS DE TRAMOS
HOMOGÉNEOS RED VIAL
CANTONAL DE SANTA ANA

LM-PI-GM-INF-01-16

PREPARADO POR
Arias-Barrantes, Eliécer
Vargas-Sobrado, Catalina
Xu-Ye, Lilly



programa de infraestructura
del transporte

San José, Costa Rica
Febrero, 2016

UGM

Unidad de
Gestión Municipal

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL: ANÁLISIS DE TRAMOS HOMOGÉNEOS DE LA RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA LM-PI-GM-INF-01-16

Arias-Barrantes Eliécer ¹, Vargas-Sobrado Catalina ², Xu-Ye Lilly ³

1. Ingeniero Unidad de Gestión Municipal PITRA LanammeUCR
2. Ingeniera Unidad de Gestión Municipal PITRA LanammeUCR
3. Asistente Unidad de Gestión Municipal PITRA LanammeUCR

Palabras Clave: PITRA, Evaluación, Gestión, Red vial cantonal, Santa Ana, Tramos homogéneos

Resumen: El estudio realizado en las principales rutas de la red vial cantonal de Santa Ana entre el año 2013 y 2014, contempla el diagnóstico de la red vial, la identificación y caracterización de tramos homogéneos, esto con el objetivo de buscar y aplicar soluciones a secciones de la carretera que presenten condiciones similares de deterioro.

En el presente informe se detalla el análisis de aproximadamente 37,4 km, donde se generó un total de 59 tramos homogéneos, posteriormente fueron analizados por medio de diferentes parámetros como: deflectometría, IRI (Índice de Regularidad Internacional), conteos vehiculares, entre otros.

El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo indicó que un 44% de los tramos homogéneos (16,7 km) presentan una condición deficiente en cuanto a capacidad estructural. En cuanto a los valores promedio de IRI, se determinó que aproximadamente 15,5 km presenta un IRI inferior a 6,4 m/km.

Uno de los productos más importantes que se incluye en el análisis es la propuesta del tipo de intervención general a **nivel de red**, basados en el estado al momento de las evaluaciones de cada uno de los tramos homogéneos. La información contenida en este informe es una herramienta útil para una eficiente y eficaz **gestión** de los recursos que dispone el municipio para el mantenimiento y la mejora de la red vial que administra.

Referencias

1. Arias-Barrantes, E., & Allen-Monge, J. (2014). Clasificación de los resultados obtenidos por el deflectómetro de impacto para la evaluación estructural de la red vial cantonal de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
2. Badilla V., G. (2009). "Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)" Infraestructura Vial, N°21. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
3. López-Ramírez, Sharline. (2009). 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: Universidad de Costa Rica.
4. Barrantes-Jimenez, R., Sibaja-Obando, D., Porras-Alvarado, J. (2008). 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 (UIVI). San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
5. Barrantes-Jimenez, R., Sibaja-Obando, D., Porras-Alvarado, J. (2008). Proyecto N° UI-PC-04-08 Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices de red vial nacional. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR

EVALUATION OF THE CANTONAL ROAD NETWORK: ANALYSIS OF UNIFORM SECTIONS OF THE CANTONAL ROAD NETWORK IN SANTA ANA LM-PI-GM-INF-01-16

Arias-Barrantes Eliécer ¹, Vargas-Sobrado Catalina ², Xu-Ye Lilly ³

1. *Engineer Municipal Management Department PITRA LanammeUCR*
2. *Engineer Municipal Management Department PITRA LanammeUCR*
3. *Assistant Municipal Management Department PITRA LanammeUCR*

Keywords: PITRA, Evaluation, Management, Cantonal road network, Santa Ana, Homogeneous Sections

Abstract: The study on major routes of the cantonal road network of Santa Ana between 2013 and 2014, provides a diagnosis of the road network, the identification and characterization of homogenous sections, with the aim of finding and implementing solutions to road sections that have similar conditions of disrepair.

The analysis in this report was made in approximately 37,4 km, where a total of 59 homogeneous sections were generated. They were analyzed by different parameters as: Falling Weight Deflectometer (FWD), International Regularity Index (IRI), traffic counts, among others.

The analysis of the average deflectometry data indicated that 44% of the homogeneous segments (16.7 km) exhibit poor condition in terms of structural capacity. As for average values of IRI, it was determined that approximately 15,5 km has an IRI less than 6,4 m/km.

One of the most important products included in the analysis, is the proposal of general intervention type at network level, based on the state of each of the homogeneous sections at the moment of evaluations. The information in this report is a useful tool for efficient and effective management of the resources that the local government has for the maintenance and improvement of the road network that it manages.

References

1. Arias-Barrantes, E., & Allen-Monge, J. (2014). Clasificación de los resultados obtenidos por el deflectómetro de impacto para la evaluación estructural de la red vial cantonal de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
2. Badilla V., G. (2009). "Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)" Infraestructura Vial, N°21. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
3. López-Ramírez, Sharline. (2009). 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: Universidad de Costa Rica.
4. Barrantes-Jimenez, R., Sibaja-Obando, D., & Porras-Alvarado, J. (2008). 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). San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
5. Barrantes-Jimenez, R., Sibaja-Obando, D., & Porras-Alvarado, J. (2008). Proyecto N° UI-PC-04-08 Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices de red vial nacional. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR

Arias-Barrantes, E., Vargas-Sobrado, C., & Xu-Ye, L. (2015). *Evaluación de la Red Vial Cantonal: Análisis de los Tramos Homogéneos de la Red Vial Cantonal de Santa Ana*. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-INF-01-16

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL: ANÁLISIS DE TRAMOS HOMOGÉNEOS RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA

Preparado por:

Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica
Febrero, 2016



Documento generado con base en el Art. 6, inciso j) de la ley 8114 según la reforma aprobada en la ley 8603. Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.



1. Informe LM-PI-GM-INF-01-16		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA: TRAMOS HOMOGÉNEOS		4. Fecha del Informe: Febrero, 2016
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>El estudio realizado en las principales rutas de la red vial cantonal de Santa Ana entre el año 2013 y 2014, contempla el diagnóstico de la red vial, la identificación y caracterización de tramos homogéneos, esto con el objetivo de buscar y aplicar soluciones a secciones de la carretera que presenten condiciones similares de deterioro.</i> <i>En el presente informe se detalla el análisis de aproximadamente 37,4 km, donde se generó un total de 59 tramos homogéneos, posteriormente fueron analizados por medio de diferentes parámetros como: deflectometría, IRI (Índice de Regularidad Internacional), conteos vehiculares, entre otros.</i> <i>El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo indicó que un 44% de los tramos homogéneos (16,7 km) presentan una condición deficiente respecto a capacidad estructural. En cuanto a los valores promedio de IRI, se determinó que aproximadamente 15,5 km presenta un IRI inferior a 6,4 m/km.</i> <i>Uno de los productos más importantes que se incluye en el análisis es la propuesta del tipo de intervención general a nivel de red, basados en el estado al momento de las evaluaciones de cada uno de los tramos homogéneos. La información contenida en este informe es una herramienta útil para una eficiente y eficaz gestión de los recursos que dispone el municipio para el mantenimiento y la mejora de la red vial que administra. Es importante mencionar que este informe complementa los resultados entregados en el año 2014, mediante el informe LM-PI-GM-INF-25-14</i>		
10. Palabras clave PITRA, Evaluación, Gestión, Red vial cantonal, Santa Ana, Tramos homogéneos	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 53
13. Preparado por:		
Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Gestión Municipal Fecha: 03 / 02 / 2016	Ing. Catalina Vargas Sobrado Unidad de Gestión Municipal Fecha: 03 / 02 / 2016	Colaboradores Lilly Xu Ye Asistente de ingeniería
15. Revisado por: Ing. Carlos Campo Cruz Coordinador Unidad de Gestión Municipal Fecha: 08 / 02 / 16	16. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Lanamme UCR Fecha: / /	17. Aprobado por: Ing. Guillermo Loria Salazar, PhD Coordinador General PITRA Fecha: / /



TABLA DE CONTENIDO

1	ANTECEDENTES	6
1.1	ASESORÍA TÉCNICA	6
1.2	CAPACITACIÓN.....	7
1.3	MUESTREOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO.....	7
1.4	RECURSOS FINANCIEROS	7
1.5	REGLAMENTO AL ARTÍCULO 5 INCISO B) DE LA LEY 8114: REGLAMENTO SOBRE EL MANEJO, NORMALIZACIÓN Y RESPONSABILIDAD PARA LA INVERSIÓN PÚBLICA EN LA RED VIAL CANTONAL.....	7
2	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL	8
2.1	IMPORTANCIA	8
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP)	9
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL	11
2.4	ESQUEMA METODOLÓGICO.....	13
3	DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA	14
3.1	OBJETIVO	14
3.2	ACTIVIDADES	14
3.2.1	<i>DEFINIR TRAMOS HOMOGÉNEOS</i>	14
3.2.2	<i>NOTAS CALIDAD</i>	30
3.3	TIPOS DE INTERVENCIÓN	39
3.4	DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	48
3.5	ESCENARIOS DE INVERSIÓN.....	49
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
4.1	CONCLUSIONES	50
4.2	RECOMENDACIONES	51
5	REFERENCIAS	53



ÍNDICE DE CUADROS

TABLA 1. LONGITUD DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN SANTA ANA.	15
TABLA 2. CATEGORIZACIÓN ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL.....	26
TABLA 3. NOTAS DE CALIDAD PARA UN TRÁNSITO INFERIOR A LOS MENOR A LOS 1000 VEHÍCULOS DIARIOS PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.....	30
TABLA 4. NOTAS DE CALIDAD PARA UN TRÁNSITO ENTRE 1000 Y 7000 VEHÍCULOS DIARIOS PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.....	31
TABLA 5. NOTA DE CALIDAD ASIGNADA A CADA TRAMO ANALIZADO EN LA LOCALIDAD DE SANTA ANA.	34
TABLA 6. TIPO DE INTERVENCIÓN REQUERIDA A NIVEL DE RED PARA CADA TRAMO EVALUADO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA.....	42

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.....	13
FIGURA 4. UBICACIÓN DE LAS ZONAS PRESENTADAS EN MAPAS POSTERIORES.....	16
FIGURA 5. UBICACIÓN DE DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS EN LA ZONA 1.....	17
FIGURA 6. UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN LA ZONA 2.....	18
FIGURA 7. UBICACIÓN DE DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN LA ZONA 3 Y 4.....	19
FIGURA 8. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.	20
FIGURA 9. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE ESTABILIZADA.....	21
FIGURA 10. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN LA ZONA 1.....	22
FIGURA 11. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN LA ZONA 2.....	23
FIGURA 12. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN LA ZONA 3 Y 4.	24
FIGURA 13. PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO. .	25
FIGURA 14. PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD PROMEDIO.	25



FIGURA 15. IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN LA ZONA 1.	26
FIGURA 16. IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN LA ZONA 2.	27
FIGURA 17. IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN LA ZONA 3 Y 4.	28
FIGURA 18. PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.	29
FIGURA 19. PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.	29
FIGURA 20. NOTAS DE CALIDAD PARA LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN LA ZONA 1.	36
FIGURA 21. NOTAS DE CALIDAD PARA LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN LA ZONA 2.	37
FIGURA 22. NOTAS DE CALIDAD PARA LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN LAS ZONAS 3 Y 4.	38
FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS A CADA TRAMO HOMOGÉNEO.	39
FIGURA 24. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA NOTA DE CALIDAD.	41
FIGURA 25. TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA, SEGÚN LONGITUD.	45
FIGURA 26. TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA, SEGÚN CANTIDAD DE TRAMOS.	45
FIGURA 27. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO ZONA 1.	46
FIGURA 28. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO ZONA 2.	47
FIGURA 29. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO EN LA ZONA 3 Y 4.	48



1 ANTECEDENTES

La ley No. 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria, asigna a la Universidad de Costa Rica, por intermedio del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), la responsabilidad de velar por la calidad y la eficiencia de la inversión pública destinada a conservar y desarrollar la red vial nacional. Con este propósito, el LanammeUCR realiza tareas de fiscalización, evaluación, investigación y transferencia de tecnología.

La ley No. 8603 reformó el artículo 6 de la ley No. 8114 con el siguiente texto: “Con la finalidad de garantizar la calidad de la red vial cantonal y en lo que razonablemente sea aplicable, las municipalidades y la Universidad de Costa Rica, por intermedio del Lanamme, podrán celebrar convenios que les permita realizar, en la circunscripción territorial municipal, tareas equivalentes a las establecidas en los incisos anteriores (La Gaceta 196, 2007).”

La Municipalidad de Santa Ana solicitó el apoyo técnico del LanammeUCR para elaborar el Plan Quinquenal de Conservación de la Red Vial Cantonal.

Con el propósito de unir esfuerzos para lograr objetivos comunes, la Municipalidad de Santa Ana y la Universidad de Costa Rica convienen en suscribir un Convenio Marco, que presenta, entre otras, las siguientes actividades principales.

Es importante mencionar que el presente informe complementa los resultados entregados en el año 2014, mediante el informe LM-PI-GM-INF-25-14, en dicho informe se entregaron resultados parciales de la evaluaciones realizadas.

1.1 Asesoría técnica

El LanammeUCR brindará asesoría técnica a la Municipalidad para realizar las siguientes actividades:

1. Evaluar la operación y uso de la red vial cantonal del casco central del cantón de Santa Ana.
2. Evaluar la condición superficial y estructural de los pavimentos existentes.
3. Desarrollar e implementar una metodología para clasificar y priorizar la RVC.

Informe LM-PI-GM-INF-01-16	Fecha de emisión: Febrero, 2016	Página 6 de 53
----------------------------	---------------------------------	----------------



4. Definir políticas y normas de ejecución para conservar la RVC.
5. Definir y diseñar las intervenciones técnicas de los proyectos a ejecutar.
6. Elaborar un plan de inversiones para implementar el plan de conservación.
7. Definir indicadores de evaluación del cumplimiento del plan de conservación.

1.2 Capacitación

LanammeUCR brindará capacitación a los funcionarios municipales y líderes comunales involucrados en el desarrollo e implementación del plan quinquenal de conservación de la Red Vial Cantonal.

1.3 Muestreos, ensayos de laboratorio y campo

Se realizarán sondeos a cielo abierto, recolección de muestras y ensayos de campo y laboratorio, para conocer y evaluar los pavimentos que conforman la Red Vial Cantonal del casco central de Santa Ana.

1.4 Recursos financieros

Para desarrollar las actividades específicas de Asesoría Técnica, Capacitación y Muestreo y ensayos de laboratorio y campo, las partes suscribirán Acuerdos de Implementación; en donde se especificarán las actividades a realizar, los productos a obtener, y los recursos humanos y financieros requeridos. Estos Acuerdos de Implementación serán aprobados por los responsables, asignados por las partes para la implementación de esta Carta de Entendimiento.

1.5 Reglamento al artículo 5 inciso b) de la Ley 8114: Reglamento sobre el Manejo, Normalización y Responsabilidad para la Inversión Pública en la Red Vial Cantonal

Este reglamento regula el uso de los fondos asignados por la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria en cuanto a la inversión pública en la red vial cantonal. El reglamento establece las distintas funciones que debe desempeñar la Unidad Técnica de Gestión Vial Cantonal (UTGVC).

En el artículo 14 se estipulan las funciones que debe cumplir la UTGVC. Una de las principales funciones con las que debe cumplir es el elaborar y ejecutar los planes y

Informe LM-PI-GM-INF-01-16	Fecha de emisión: Febrero, 2016	Página 7 de 53
----------------------------	---------------------------------	----------------



programas de conservación y de desarrollo vial, dichos planes deben considerar criterios técnicos para priorizar los caminos a intervenir.

Además, debe realizar y actualizar el inventario de la red vial del cantón y elaborar un expediente de caminos en donde se detalle la fecha, el tipo y el costo de la intervención. Así mismo, debe establecer un programa de verificación de calidad que garantice el uso eficiente de los recursos, por lo que es necesario evaluar la condición de la red de manera periódica con el fin de verificar el desempeño de las intervenciones realizadas al transcurrir el tiempo.

2 PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL

2.1 Importancia

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. El segundo objetivo es conservar y mejorar la calidad 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 vial cantonal de la Municipalidad de Santa Ana, 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.

2.2 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 usuarios, economía en operación de los vehículos 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 continúa.

A través de la aplicación del SAP se disminuye la incertidumbre de la inversión, dado 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: Tomado y modificado de 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.

Asimismo, 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 alternas 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 los vehículos que los transitan, 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 manutención 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, reconstrucción, ampliación de carreteras y nuevos proyectos carreteros.

El comienzo de una gestión integral de los elementos de la infraestructura vial puede iniciar con un elemento fundamental y de gran 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).

2.3 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, la Figura 2 muestra el flujograma para el proceso de gestión vial en el ámbito municipal.

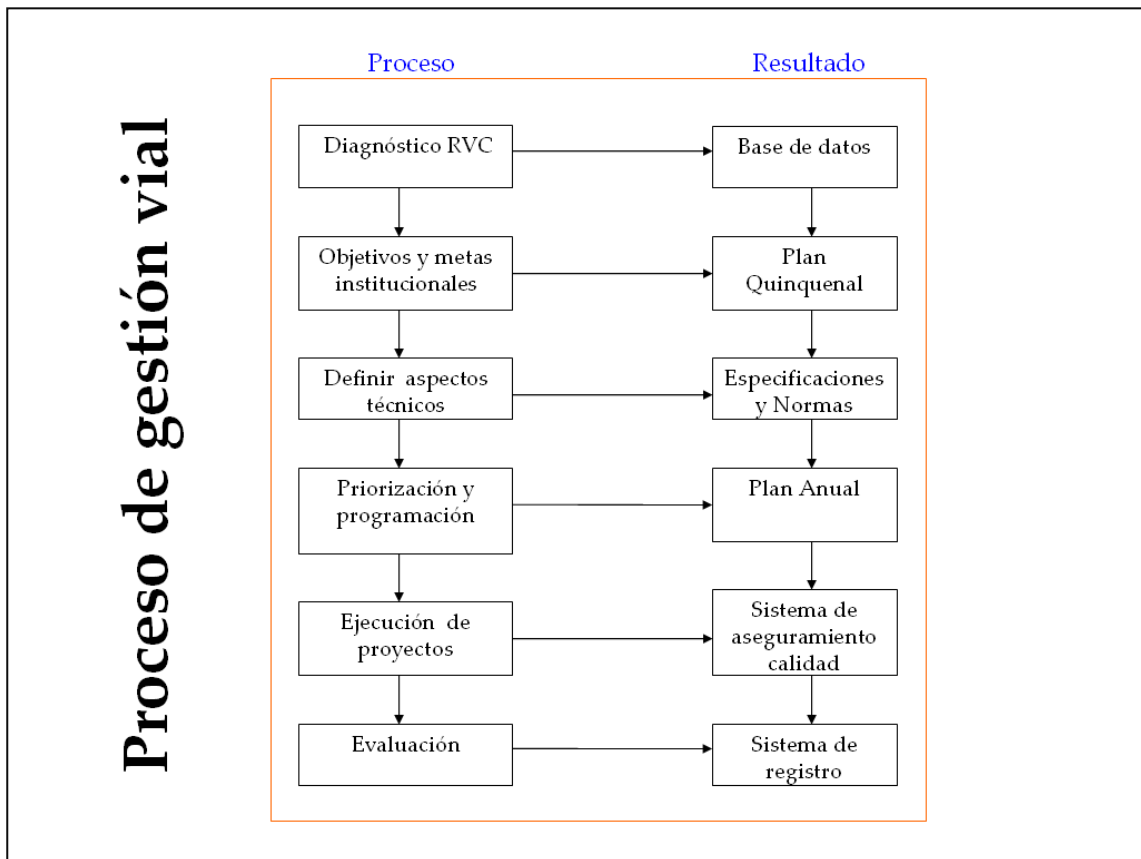


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Cuando se elabora el diagnóstico de la red vial cantonal (RVC), el producto principal es la base de datos ya 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.

En 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 realizarse 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.

2.4 Esquema Metodológico

En la Figura 3, 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.

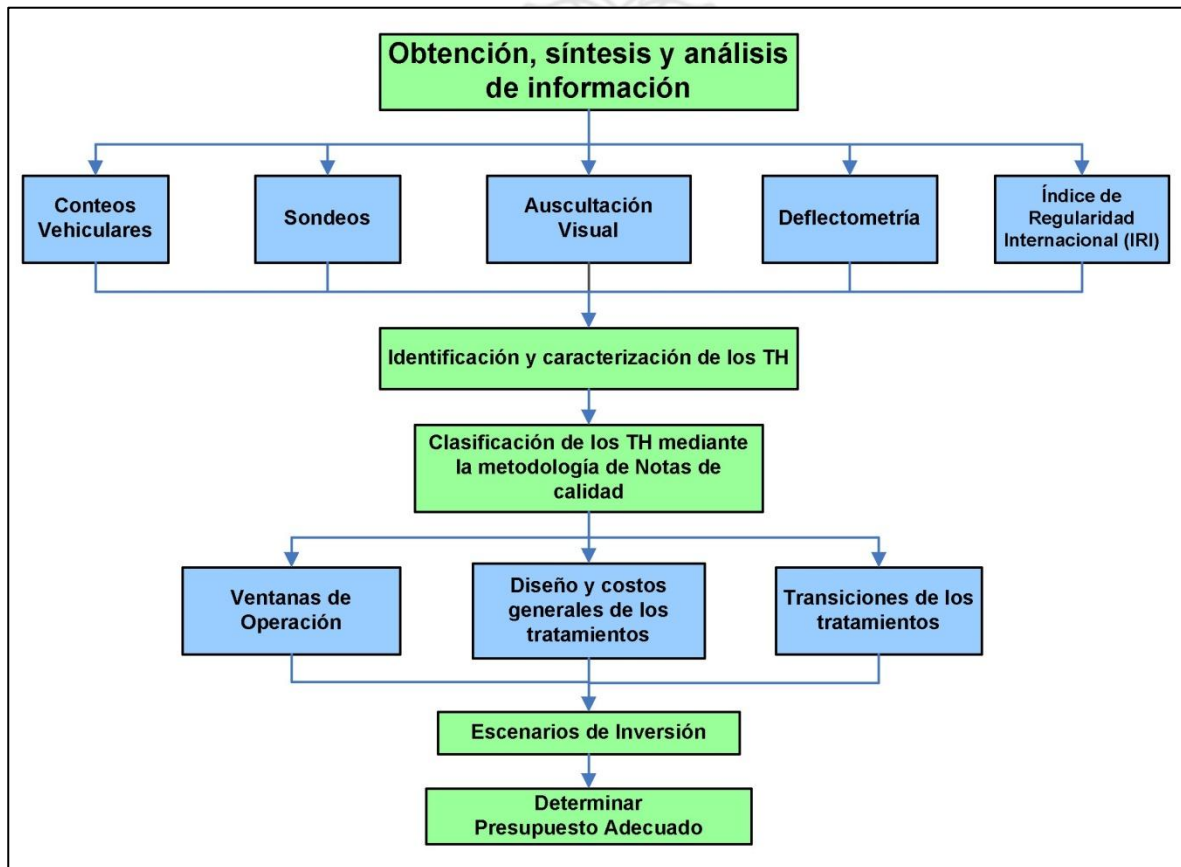


Figura 3. Esquema metodológico.



3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SANTA ANA

3.1 Objetivo

Realizar una evaluación de la red vial cantonal (RVC) de Santa Ana, con el fin de obtener una base de datos con diferentes características técnicas de la infraestructura vial.

3.2 Actividades

Las actividades para realizar el diagnóstico de la RVC se compone de diferentes actividades con productos asociados:

1. Determinar tránsito promedio diario (TPD) y clasificación vehicular.
2. Identificar condición funcional.
3. Identificar condición estructural.
4. Caracterizar la estructura del pavimento.
5. Definir tramos homogéneos.

Las actividades 1, 2, 3 y 4 fueron presentadas en el informe LM-PI-GM-INF-25-14, "Informe de Diagnóstico: Evaluación de la Red Vial de Santa Ana", este reúne los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, conteos vehiculares, sondeos de laboratorio, así como los resultados de deflectometría de impacto (FWD) e estimaciones del índice de regularidad internacional (IRI).

3.2.1 Definir tramos homogéneos

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

Los siguientes criterios se utilizaron para determinar los tramos homogéneos, y se basan en los valores de las deflexiones obtenidas en la evaluación de la red vial.

- 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 el estudio realizado para la Municipalidad de Santa Ana se obtuvo 59 tramos homogéneos a partir de aproximadamente 37,4 km evaluados; a continuación en la Tabla 1 se presenta el número de tramo y la longitud aproximada en metros para los tramos ubicados en la zona analizada; además, en la Figura 4, Figura 5, Figura 6 y Figura 7 se muestra su ubicación en la red vial cantonal.

Tabla 1. Longitud de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Santa Ana.

Tramo	Longitud (m)	Tramo	Longitud (m)	Tramo	Longitud (m)
1	179	19	499	38	1705
2	247	20	191	39	417
3	450	21	293	40	1122
4	763	22	352	41	1061
5	1210	23	426	42	863
6	1334	24	222	43	827
7	581	25	376	44	1018
8	693	26	1226	45	886
9	735	27	561	46	678
10	615	28	189	47	486
11	895	29	225	48	269
12	249	30	478	49	451
13	271	31	511	50	426
14	279	32	868	51	638
15-1	98	33	626	52	180
15-2	186	34	209	53	1980
16	193	35	1013	54	1044
17	197	36	2940	55	644
18	487	37	785	56	542
				57	179
				58	299

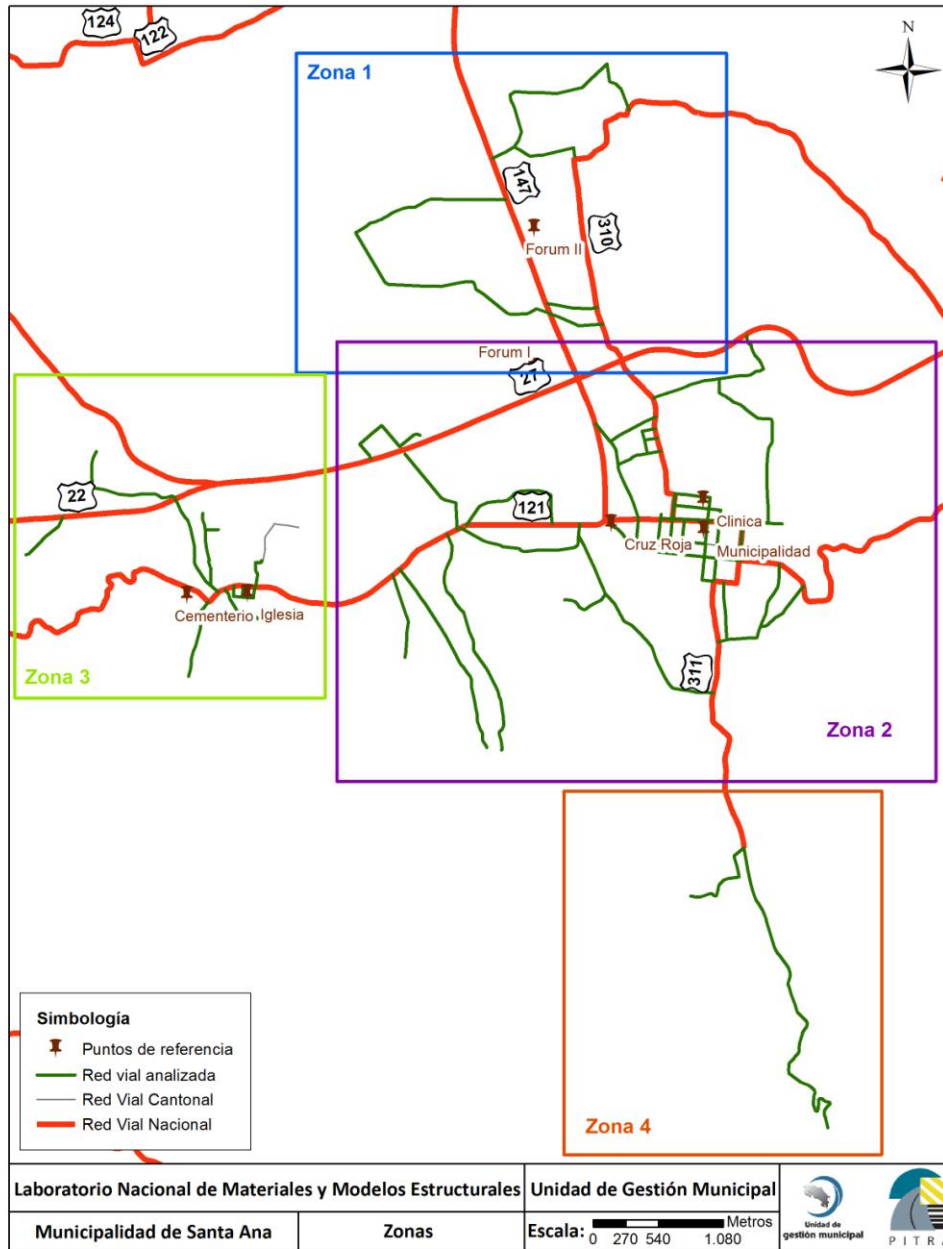


Figura 4. Ubicación de las zonas presentadas en mapas posteriores.

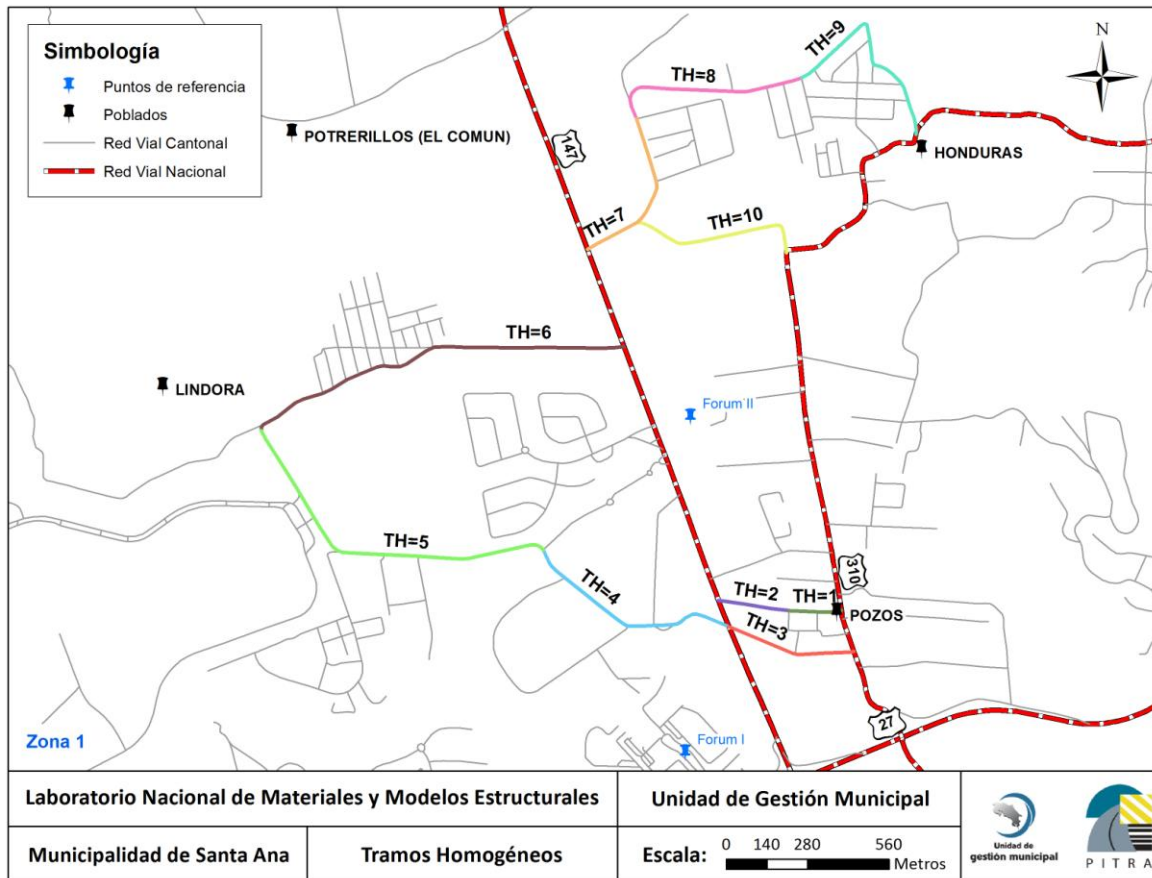


Figura 5. Ubicación de diferentes tramos homogéneos en la Zona 1.

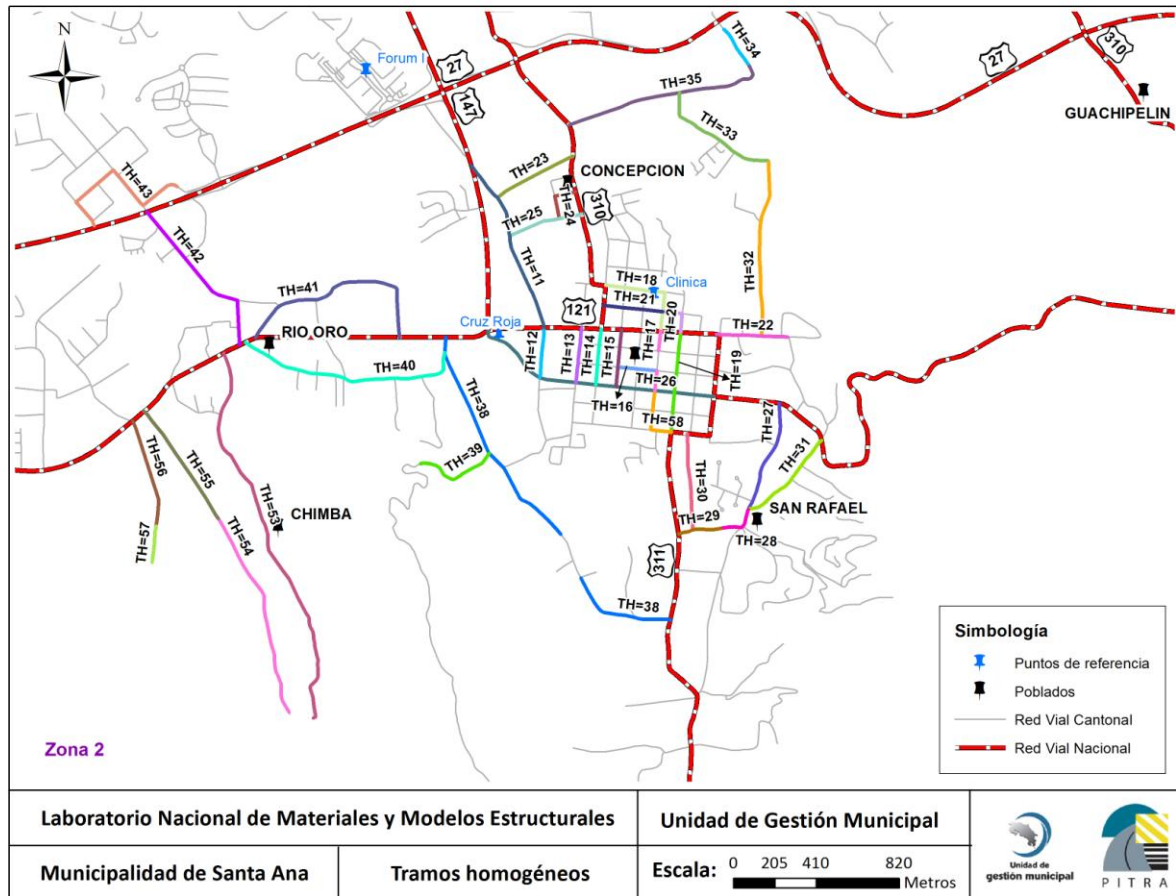


Figura 6. Ubicación de los diferentes tramos homogéneos ubicados en la Zona 2.

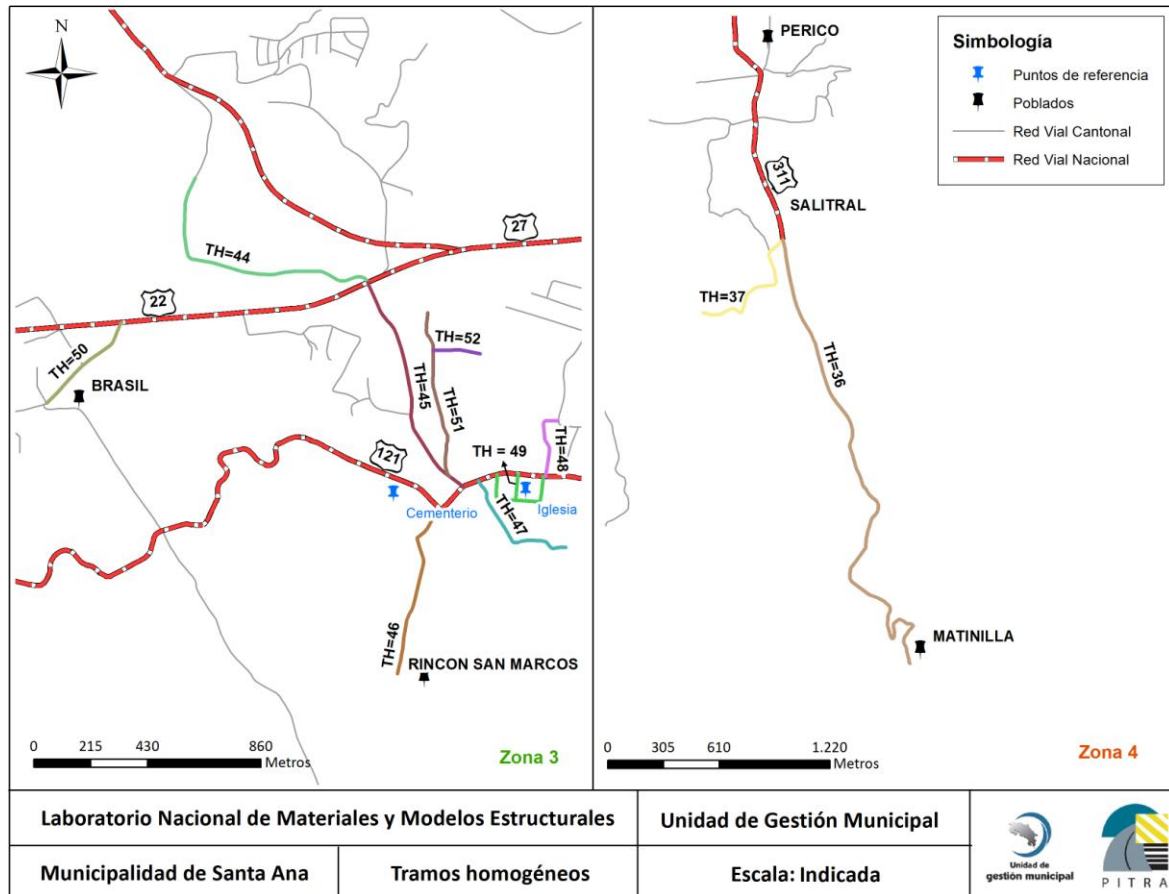


Figura 7. Ubicación de diferentes tramos homogéneos ubicados en la zona 3 y 4.

Es importante aclarar que los valores promedio asociados a cada tramo ofrecen una idea de la condición general del mismo para el año 2013-2014, ya que a cada tramo se le asocia cierta dispersión producto de la variabilidad en el tiempo de la evaluación del IRI o la deflectometría. Sin embargo, se realizaron inspecciones de campo para identificar posibles cambios en la condición general de los tramos.

3.2.1.1 Deflexión Promedio

Para categorizar el estado estructural de cada tramo homogéneo también se utiliza la clasificación que se presenta en la Figura 8 y Figura 9, donde se consideran diferentes

intervalos para clasificar la deflectometría según el TPD de las vías y el tipo de estructura (pavimento con base granular o estabilizada).

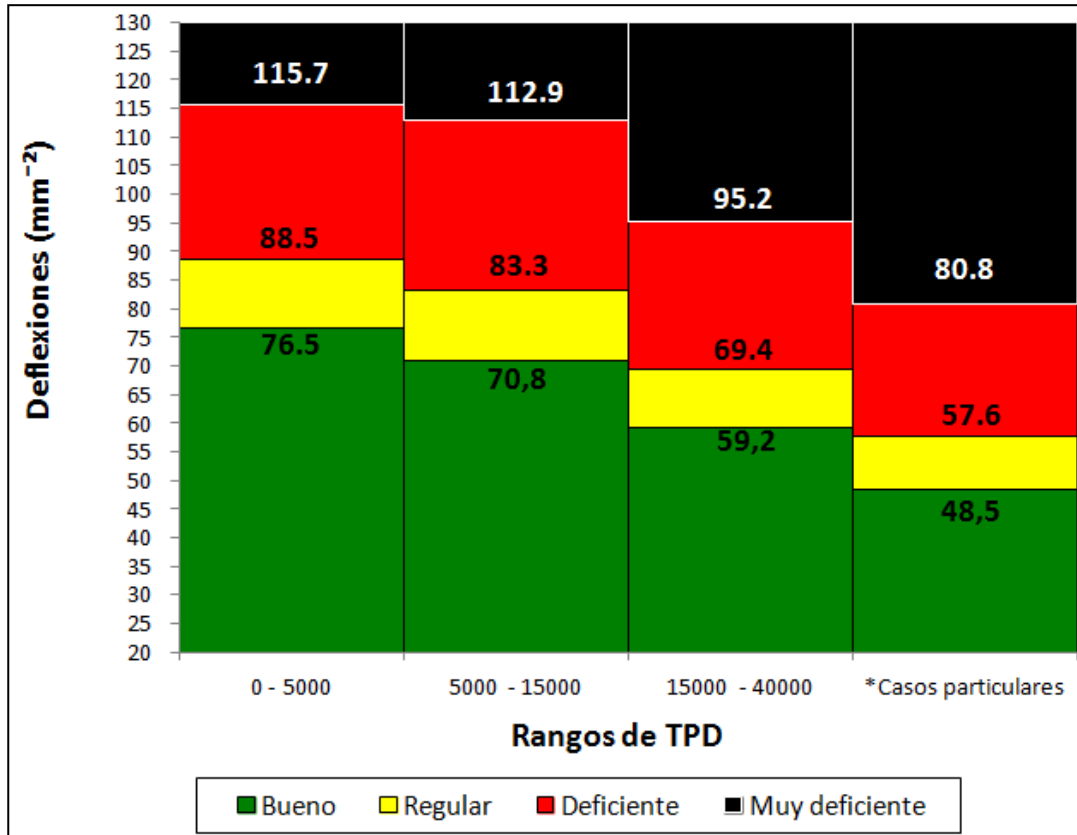


Figura 8. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base granular.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

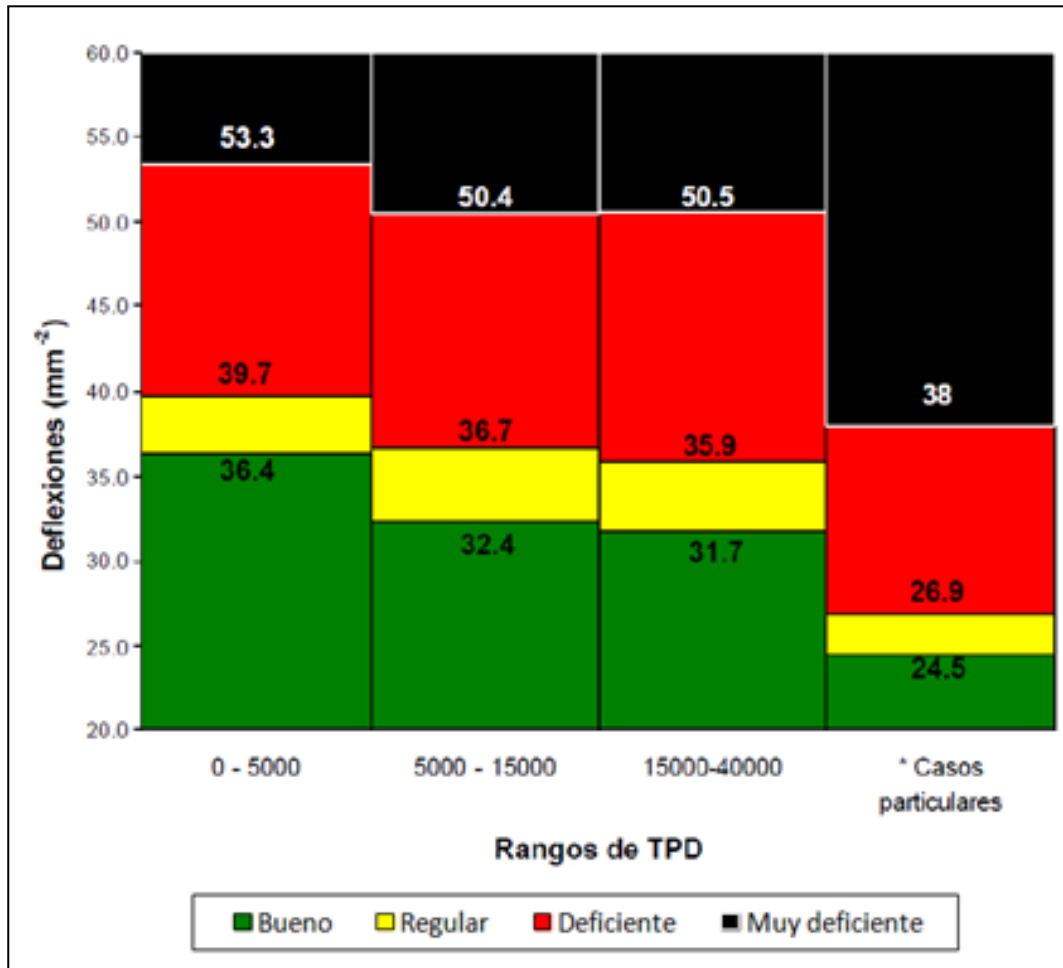


Figura 9. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base estabilizada.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

En la Figura 10, Figura 11 y Figura 12, se muestra de manera gráfica el valor de la deflectometría promedio (FWD promedio) para cada uno de los tramos homogéneos, según las deflexiones medidas en el año 2013.

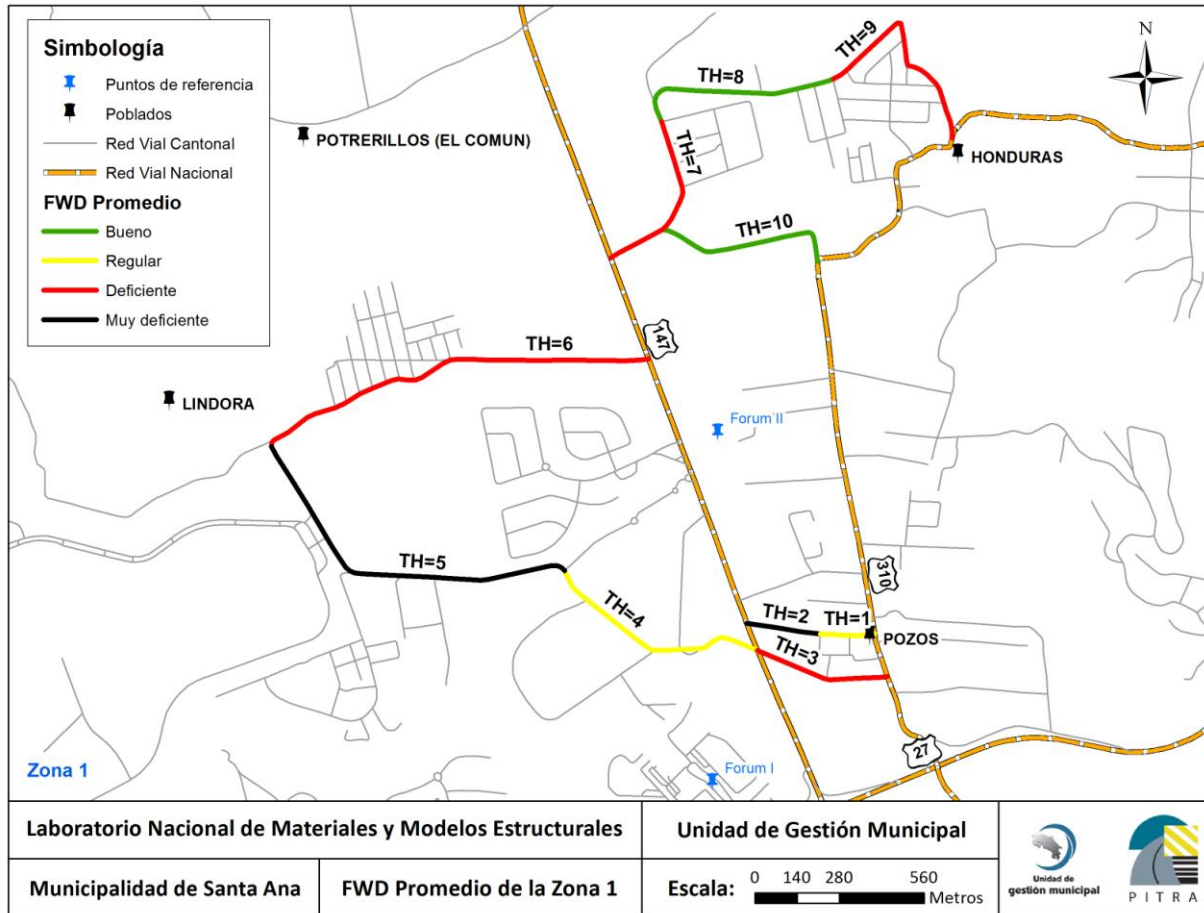


Figura 10. Deflectometría promedio de las vías analizadas en la zona 1.

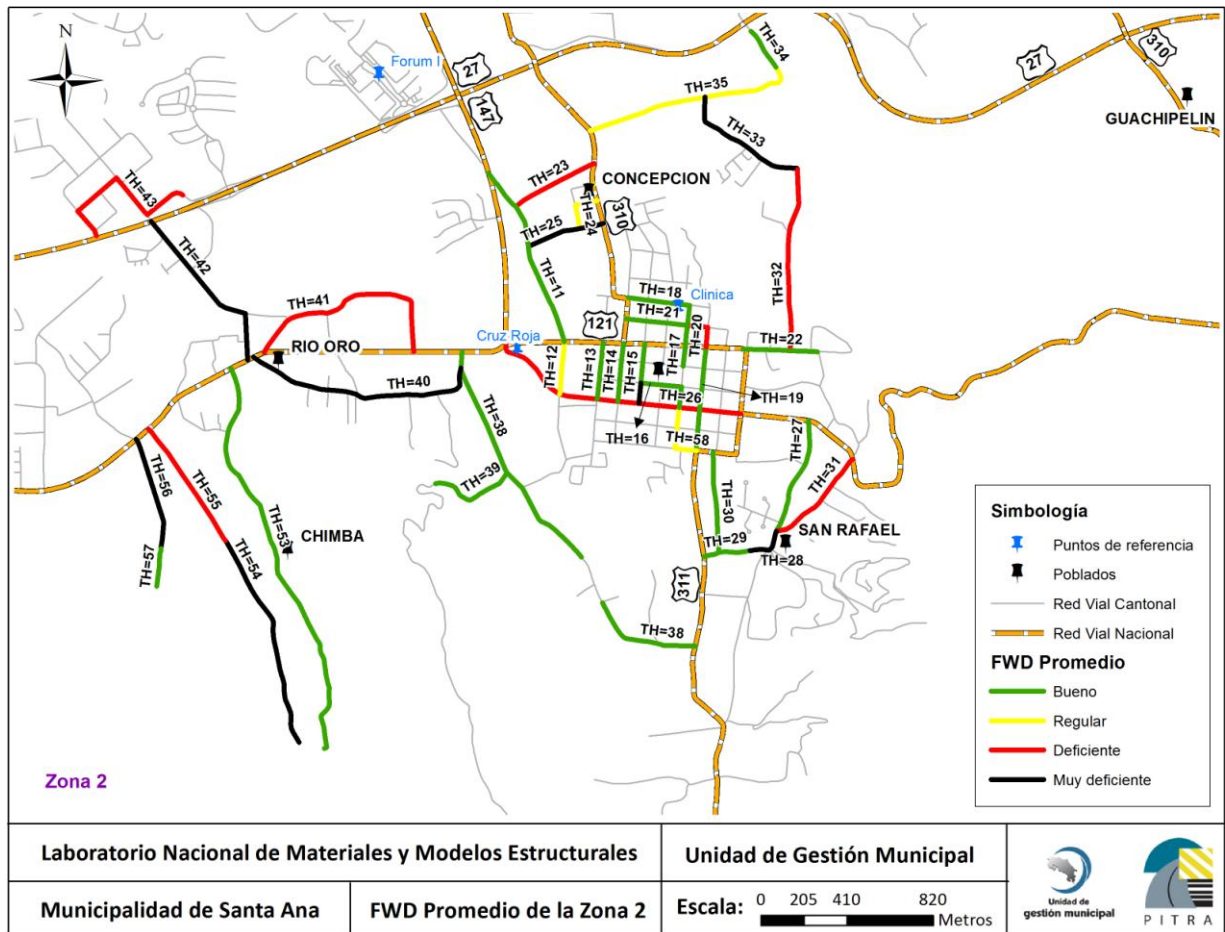


Figura 11. Deflectometría promedio de las vías analizadas en la zona 2.

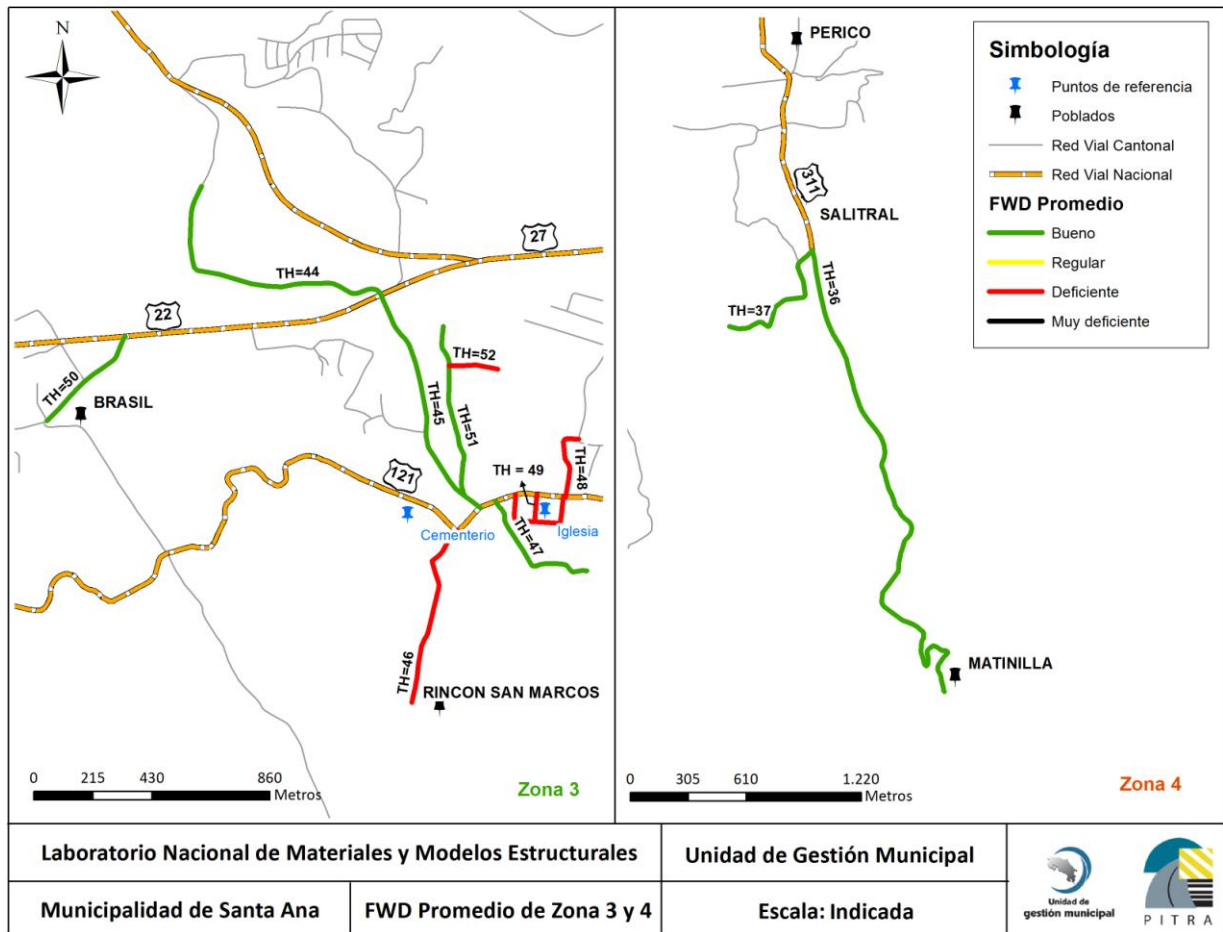


Figura 12. Deflectometría promedio de las vías analizadas en la zona 3 y 4.

Para cada categoría de condición estructural se realiza un análisis en el que se determina la cantidad de metros lineales y la cantidad de tramos homogéneos asociados, los cuales se sintetizan en la Figura 13 y Figura 14.

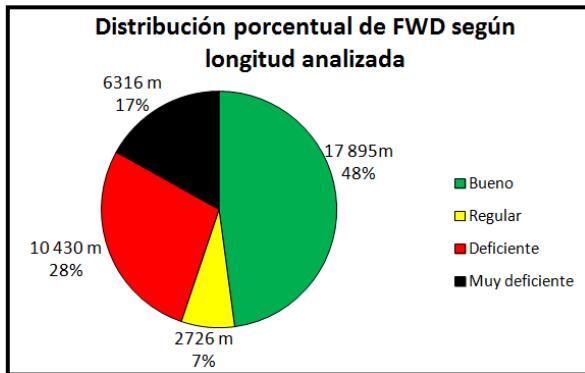


Figura 13. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio.

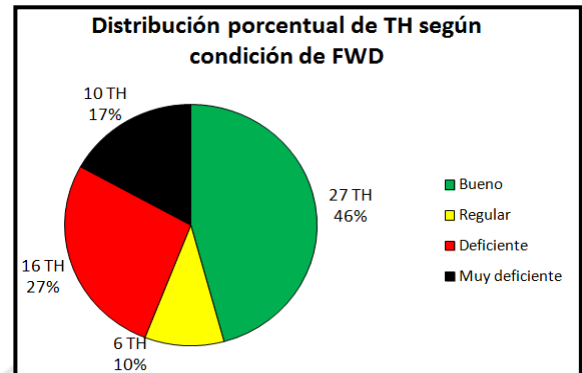


Figura 14. Porcentaje de tramos clasificados según el FWD promedio.

En la Figura 13 y la Figura 14, es posible observar que un 48% de la longitud evaluada (aproximadamente 17,9 km distribuidos en 27 tramos homogéneos) presenta una adecuada condición estructural; mientras que un 45% de la longitud de los tramos evaluados (16,7 km) posee una estructura del pavimento con un nivel de deterioro importante (pertenecientes a las categorías "deficiente" y "muy deficiente") y por lo consiguiente una baja capacidad para soportar las cargas de tránsito a las que se ve sometida. Adicionalmente cabe mencionar que aproximadamente 3 km distribuidos en 6 tramos homogéneos se encuentran en la categoría "Regular".

3.2.1.2 IRI promedio

El IRI se midió sobre la red vial pavimentada a cada 25 metros, con el Perfilómetro Inercial Láser del LanammeUCR, en el mes de junio del 2013, abarcando todas las rutas contempladas en el convenio sobre una longitud de 37,4 km. Se realizó una caracterización mediante los valores promedio de cada tramo ($IRI_{promedio}$) con el fin de identificar la variación en el tramo y el valor más representativo del mismo, para ello se utiliza la simbología de la siguiente tabla.

Tabla 2. Categorización Índice de Regularidad Internacional.

Condición	IRI (m/km)
Bueno	< 3,6
Regular	3,6 - 6,4
Malo	6,4 - 10
Muy malo	>10

El análisis por IRI promedio indica que las rutas en este estudio presentan un alto deterioro de la condición superficial. En la Figura 15, Figura 16 y Figura 17, es posible visualizar la condición del IRI promedio para los diferentes tramos.

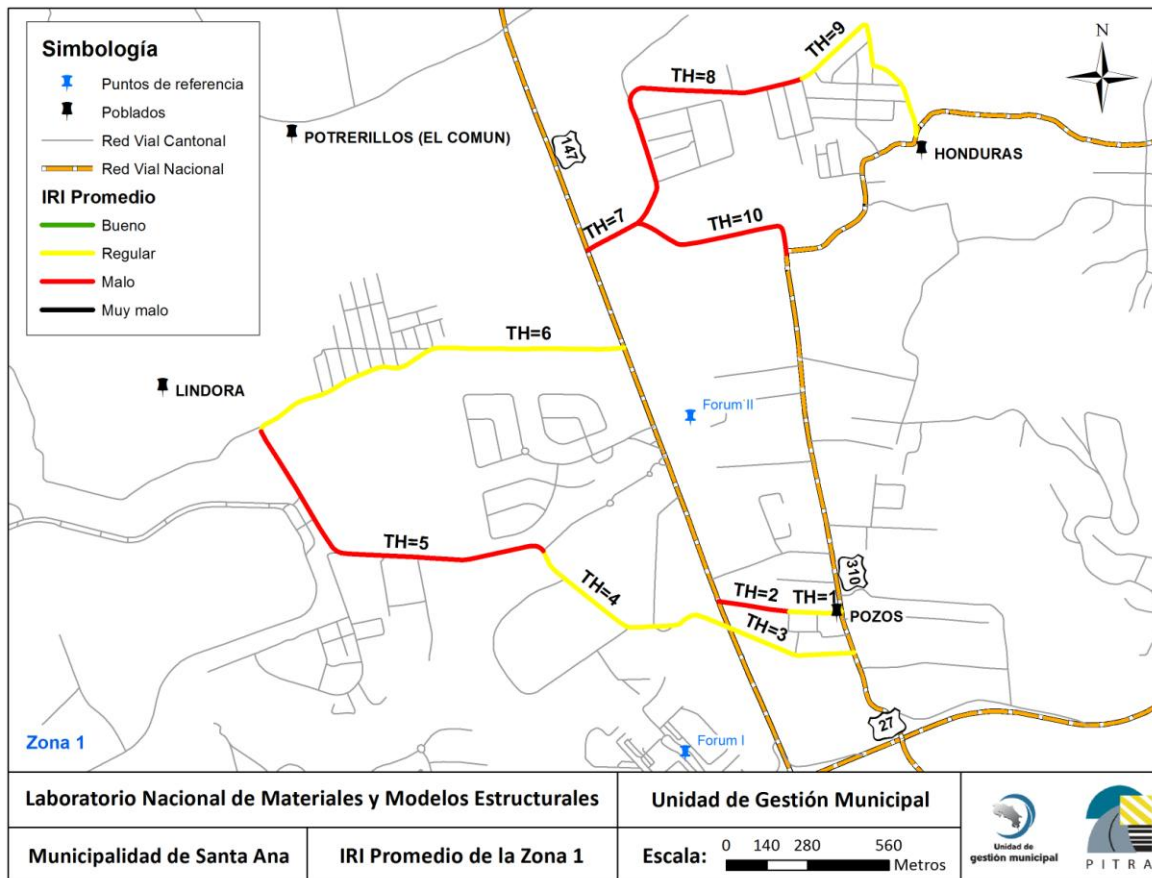


Figura 15. IRI promedio para las vías analizadas en la Zona 1.

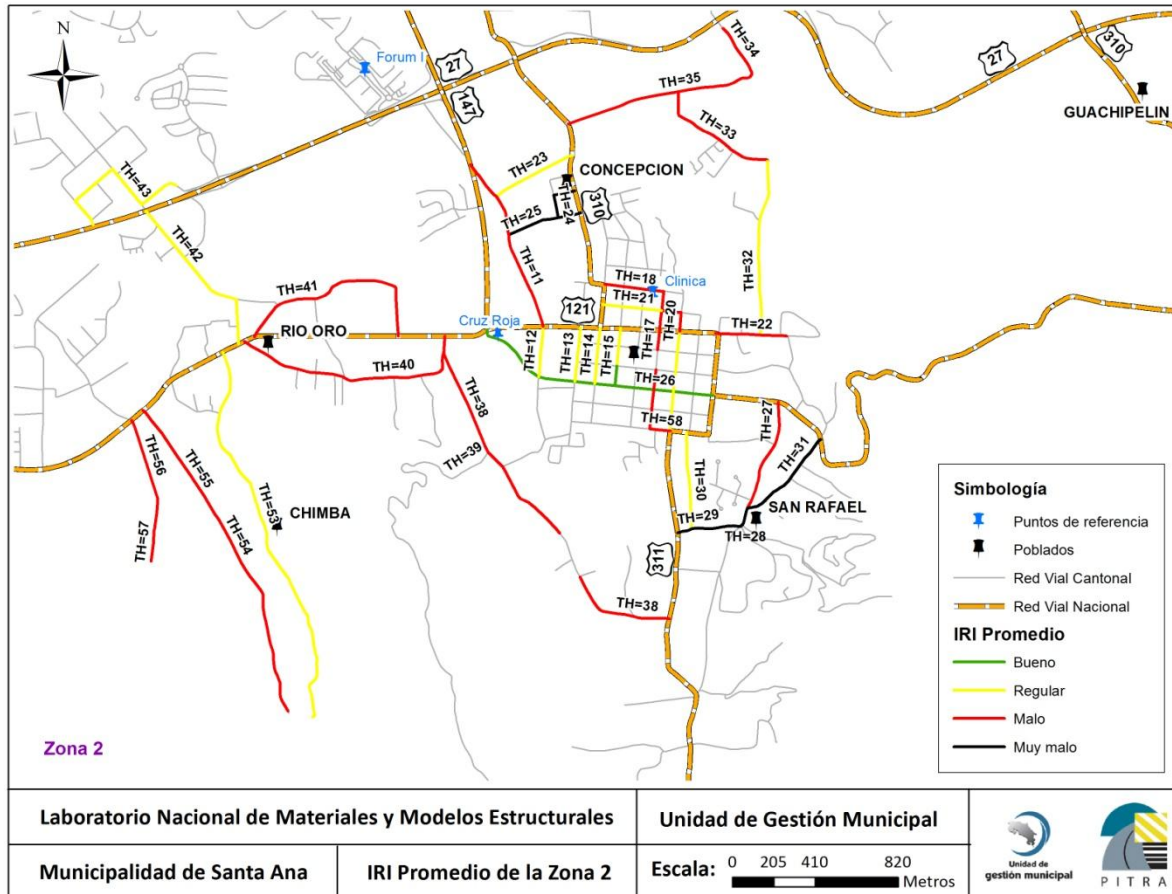


Figura 16. IRI promedio para las vías analizadas en la Zona 2.

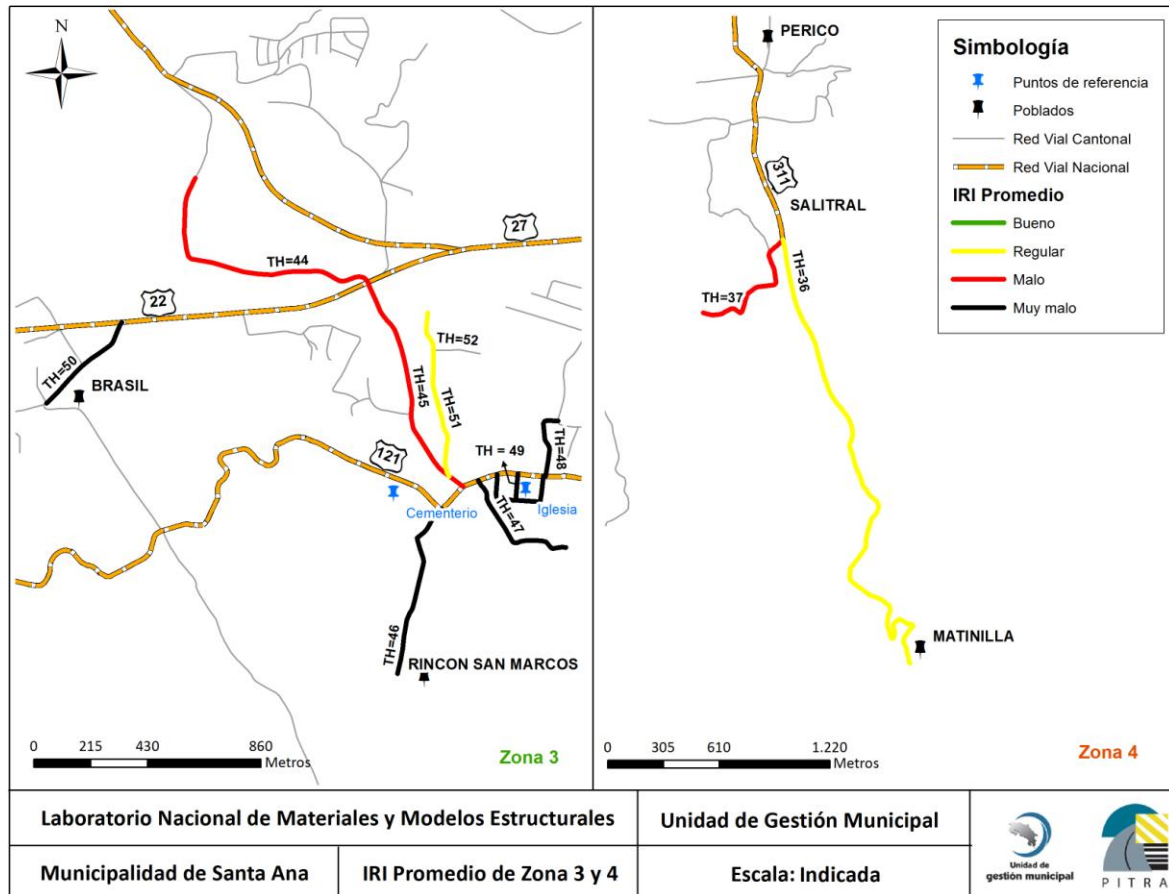


Figura 17. IRI promedio para las vías analizadas en la Zona 3 y 4.

La distribución de la cantidad de tramos homogéneos y de los metros lineales asociados a cada categoría de IRI de acuerdo con las mediciones del año 2013, se muestra porcentualmente en la Figura 18 y la Figura 19.

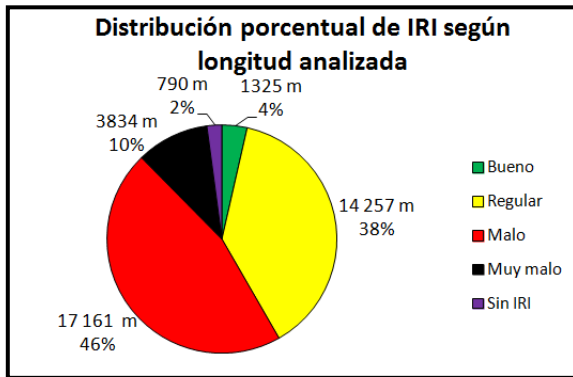


Figura 18. Porcentaje de metros lineales clasificados según el IRI promedio.

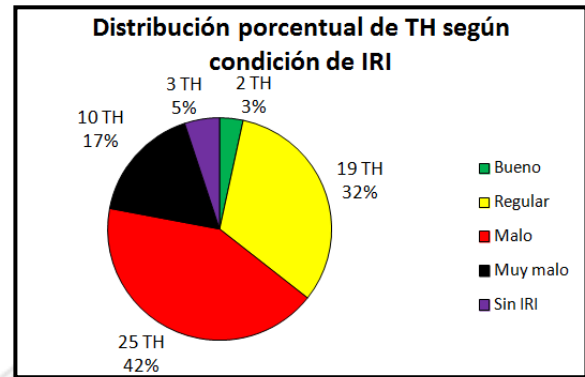


Figura 19. Porcentaje de tramos clasificados según el IRI promedio.

Según la información que se muestra en las figuras anteriores, únicamente 2 tramos homogéneos, con una longitud total de 1,3 km, se encuentran en una buena condición funcional; a diferencia de 14 km distribuidos en 19 tramos homogéneos, que representan condiciones “Regulares” de IRI. Esto implica que 42% de la longitud evaluada posee un IRI promedio inferior a 6,4 m/km, es decir, poseen una condición superficial aceptable para las velocidades de operación en las rutas cantonales.

Se debe mencionar que el 59% de los tramos analizados (correspondientes a 21 km de la longitud de tramo analizado) poseen un IRI superior 6,4 m/km, correspondiente a una vía con irregularidades importantes. La irregularidad en la superficie de ruedo implica un mayor costo de operación para los usuarios, mayor tiempo en el traslado y un viaje poco confortable sobre estos tramos. Estas irregularidades también ocasionan un deterioro acelerado de la estructura, debido a las cargas dinámicas a las cuales se ve sometida, ocasionado por el golpeteo de los vehículos al transitar por una ruta irregular.

Las secciones de los gráficos en color morado representan aquellos tramos de carreteras en los cuales no se efectuaron mediciones con el Perfilómetro Inercial Láser pero sí de FWD.

3.2.2 Notas Calidad

El estado de cada uno de los tramos es analizado funcional y estructuralmente, y mediante la unión de estos dos aspectos se puede determinar la condición en el que se encuentra un tramo en el momento de su evaluación; a este nuevo indicador se le denominará **Nota de Calidad**, la cual permitirá definir la estrategia de intervención más adecuada a nivel de gestión para cada tramo.

La metodología plantea matrices que relacionan la capacidad estructural (valores de deflectometría) con la capacidad funcional (valores de IRI) evaluada, de manera que se genera una “nota” según el estado general en el que se encuentra un tramo. Hay diferentes matrices según el nivel de flujo vehicular asociado a una ruta, pues la caracterización de la capacidad estructural de una ruta es función del tránsito vehicular: una ruta de alto tránsito requiere una mayor capacidad (menor deflexión) para soportar las cargas que una ruta de bajo tránsito.

La metodología utilizada para la evaluación de la red vial municipal es una adaptación de la metodología utilizada para analizar la red vial nacional 2010-2011, la cual se presenta en el informe LM-PI-UE-05-11, emitido por el LanammeUCR.

En la Tabla 3 y Tabla 4, se presentan dos matrices que establecen notas de calidad en función de los valores de IRI y deflectometría medidos al momento de la evaluación.

Tabla 3. Notas de calidad para un tránsito inferior a los menor a los 1000 vehículos diarios para una estructura con base granular.

IRI m/km	Deflexión 10 ⁻² mm			
	<101,0	101,0-114,8	114,8-138,7	>138,7
Bueno (0-3,6 m/km)	Q1	Q3	Q6	R-1
Regular (3,6-6,4 m/km)	Q2	Q5	Q8	R-2
Malo (6,4-10,0 m/km)	Q4	Q7	Q9	R-3
Muy malo (mayor 10,0 m/km)	M-RF	RH-RF	R-3	NP

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Tabla 4. Notas de calidad para un tránsito entre 1000 y 7000 vehículos diarios para una estructura con base granular.

IRI m/km	Deflexión 10 ⁻² mm			
	<80,3	80,3-93,4	93,4-114,8	>114,8
Bueno (0-3,6 m/km)	Q1	Q3	Q6	R-1
Regular (3,6-6,4 m/km)	Q2	Q5	Q8	R-2
Malo (6,4-10,0 m/km)	Q4	Q7	Q9	R-3
Muy malo (mayor 10,0 m/km)	M-RF	RH-RF	R-3	NP

Fuente: LanammeUCR, 2012.

El uso de colores en la Tabla 3 y Tabla 4, refleja de manera general el tipo de intervención (a nivel de gestión) que requiere cada una de las categorías. Los colores verdes representan actividades relacionadas con el mantenimiento, el amarillo se refiere a tramos que requieren recuperación de la capacidad funcional, el azul requiere un proceso de análisis a nivel de proyecto ya que se encuentra en una condición intermedia, los colores rosados representan tramos que requieren rehabilitación menor, los colores naranjas y rojos representan una rehabilitación mayor y los negros requieren reconstrucción, en la siguiente sección se amplía la descripción de los diferentes tipos de intervenciones.

3.2.2.1 Definición de las notas de calidad

- Q1: Es la condición ideal de un pavimento desde el punto de vista funcional y estructural. Son estructuras que brindan un buen servicio al usuario, disminuyendo los costos de operación. A pesar de esto, pueden presentar deterioros que no son percibidos por la deflectometría de campo y la evaluación realizada con el perfilómetro (IRI), tales como: desprendimientos leves, desnudamiento o exudaciones. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones del tipo mantenimiento de preservación de bajo costo.
- Q2: Son pavimentos con muy buena capacidad estructural, sin embargo, poseen una capacidad funcional regular. En pavimentos flexibles los defectos superficiales que se pueden presentar son deformaciones en la mezcla asfáltica, baches reparados y agrietamientos de baja severidad. Estas estructuras son candidatas a mantenimientos



de preservación de bajo costo, enfocadas a corregir la pérdida de capacidad funcional.

- Q3: En estos pavimentos se presenta una pérdida de la capacidad estructural, sin embargo, se mantiene una condición funcional buena. Por lo que los deterioros funcionales no percibidos por el deflectómetro o el perfilómetro (IRI) en el campo pueden tener un mayor nivel de extensión o severidad. Los pavimentos que califican con esta nota son candidatos a mantenimientos de preservación de bajo costo, enfocadas a atender la pérdida de capacidad estructural, con el objetivo de detener o retardar su avance.
- Q4: Existe un deterioro en el pavimento que puede afectar la velocidad del tránsito. En pavimentos flexibles pueden presentarse grandes baches o grietas profundas, entre los deterioros se incluye pérdida de agregados y ahuellamiento, los cuales se encuentran en más del 50% de la superficie. Aunque la condición estructural es buena, la condición funcional presenta un deterioro importante que afecta la durabilidad del pavimento, aumentando la tasa de deterioro estructural de forma elevada. Debido al deterioro de la capa de ruedo estos pavimentos pasarán a las categorías M-RF o Q7 en el mediano plazo. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de mediano costo que se enfoquen a atender la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo.
- M-RF: En esta categoría se encuentran estructuras con un deterioro funcional extremo que afecta significativamente la velocidad del tránsito. Presentan grandes baches y grietas profundas en la carpeta asfáltica. El deterioro se presenta en más de la mitad de la superficie, comprometiendo la capacidad estructural del pavimento. Debido al deterioro en la capa de ruedo, en el corto plazo estos pavimentos pasarán a la categoría RH-RF. Los tramos que presentan esta categoría son candidatos a intervenciones de tipo de mantenimiento de alto costo, enfocadas en recuperar la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo para evitar un mayor deterioro de la capacidad estructural.



- Q5: Estas estructuras se encuentran en una condición de capacidad estructural y funcional intermedia por lo que es necesario realizar un análisis más detallado a nivel de proyecto.
- Q7: Los pavimentos en esta categoría tienen una condición de ruedo similar a los que se encuentran en la categoría Q4, sin embargo, presentan una peor condición estructural, por lo que deterioros como ahuellamientos, agrietamientos por fatiga o agrietamientos transversales y longitudinales son mayores. En estos pavimentos la velocidad del deterioro estructural y funcional se intensifica, por lo que se encuentran propensos a pasar a las categorías RH-RF o Q9 en el mediano plazo. Estos tramos son candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación menor, enfocadas a la recuperación de la pérdida de capacidad funcional en el mediano plazo con el fin de retardar o evitar un mayor deterioro de la capacidad estructural.
- RH-RF: Los pavimentos es esta categoría poseen una condición de ruedo similar a M-RF, sin embargo, presentan una peor condición estructural, por lo que la presencia de deterioros es mayor. En estos tramos la velocidad de deterioro se intensifica por lo que son propensos a pasar a la categoría R3 a corto plazo. Estas estructuras son candidatas a intervenciones de tipo rehabilitación menor, enfocadas a recuperar la pérdida de capacidad funcional y estructural en el corto plazo para evitar o retardar un mayor deterioro.
- Q6, Q8 y Q9: Estos tramos presentan una condición estructural muy deficiente, en el caso de que presenten una buena condición funcional en el momento de su evaluación, normalmente se debe a recapados o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido a dar aporte estructural significativo, por lo tanto son trabajos de poca durabilidad. La condición de pérdida acelerada de la capacidad estructural y funcional de estos pavimentos los convierte en candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida a corto plazo.
- R-1, R-2: Estos pavimentos presentan una condición estructural muy deficiente. Los tramos que se encuentran categorizados en esta condición y poseen una buena condición de la capa de ruedo se debe, principalmente, a la presencia de sobrecapas

o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido, de manera significativa, a nivel estructural, por lo tanto, son trabajos de poca durabilidad y existe una rápida migración a notas como R-3 y NP, donde la alternativa de intervención es una reconstrucción del pavimento. Estos tramos son candidatos a intervenciones del tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida de forma inmediata.

- R-3, NP: Estos pavimentos presentan un altísimo nivel de deterioro. Donde la transitabilidad y la capacidad estructural son inferiores a los niveles aceptables para una carretera pavimentada. Estos tramos son candidatos a las inversiones de más alto costo, siendo tramos candidatos a una reconstrucción.

3.2.2.2 Notas de calidad de la red vial analizada

Las notas de calidad se asignaron según el procedimiento descrito en la sección 3.2.2 utilizando la Tabla 3 y Tabla 4, donde los parámetros utilizados para la asignación de cada nota de calidad son el IRI promedio y la deflectometría promedio caracterizada según el tipo de base asociada y flujo vehicular característico.

En la Tabla 5, se puede observar el detalle de los valores promedio de IRI y deflectometría para cada tramo homogéneo correspondientes a las condiciones de la infraestructura para el año 2013, además, se indica la nota de calidad asociada a los valores obtenidos.

Tabla 5. Nota de calidad asignada a cada tramo analizado en la localidad de Santa Ana.

Tramo	Long (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Notas Q
1	179	83,88	4,63	Q5
2	247	137,58	8,86	R-3
3	450	100,80	5,75	Q8
4	763	92,76	6,13	Q5
5	1210	125,55	7,18	R-3
6	1334	106,19	5,29	Q8
7	581	104,90	9,11	Q9
8	693	74,32	6,72	Q4
9	735	114,59	5,59	Q8
10	615	71,26	7,52	Q4
11	895	55,32	7,48	Q4
12	249	92,38	4,6	Q5



Tramo	Long (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Notas Q
13	271	55,00	4	Q2
14	279	55,62	4,82	Q2
15-1	98	178,53	3,53	R-1
15-2	186	62,82	4,43	Q2
16	193	75,71	Sin IRI	Sin Nota Q
17	197	13,72	7,04	Q4
18	487	68,08	7,19	Q4
19	499	58,78	5,81	Q2
20	191	104,09	8,91	Q9
21	293	33,19	3,92	Q2
22	352	73,90	9,66	Q4
23	426	107,59	6,35	Q8
24	222	82,95	11,66	RH-RF
25	376	119,32	11,41	NP
26	1226	38,04	3,22	Q6
27	561	59,85	6,73	Q4
28	189	118,96	15,74	NP
29	225	51,76	10,96	M-RF
30	478	68,06	5,71	Q2
31	511	95,87	10,01	R-3
32	868	100,99	6,07	Q8
33	626	139,34	8,59	R-3
34	209	54,59	6,72	Q4
35	1013	89,29	9,31	Q7
36	2940	40,20	5,85	Q2
37	785	63,12	6,95	Q4
38	1705	65,87	7,33	Q4
39	417	73,49	Sin IRI	Sin Nota Q
40	1122	131,56	7,03	R-3
41	1061	100,40	8,66	Q9
42	863	164,28	6,22	R-2
43	827	94,92	4,72	Q8
44	1018	78,63	6,55	Q4
45	886	51,80	7,35	Q4
46	678	95,77	11,36	R-3
47	486	65,00	10,03	M-RF
48	269	104,37	11,29	R-3
49	451	98,65	12,01	R-3
50	426	66,66	11,85	M-RF

Tramo	Long (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Notas Q
51	638	76,21	5,53	Q2
52	180	96,16	Sin IRI	Sin Nota Q
53	1980	61,72	5,48	Q2
54	1044	133,18	6,46	R-3
55	644	104,14	6,62	Q9
56	542	134,24	9,09	R-3
57	179	20,41	7,25	Q4
58	299	90,22	9,39	Q7

En la Figura 20, Figura 21 y Figura 22 puede observarse cada tramo homogéneo clasificado según la metodología de notas de calidad.

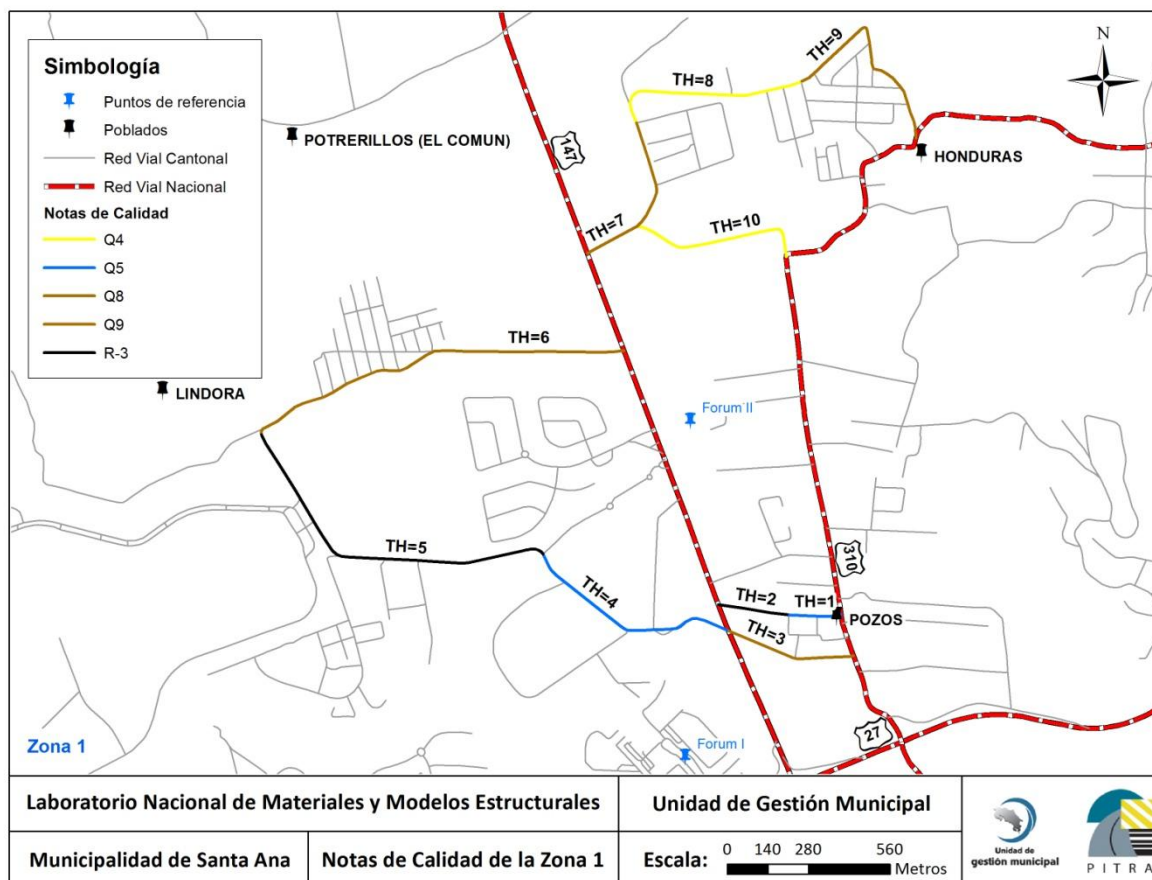


Figura 20. Notas de Calidad para los tramos homogéneos analizados en la zona 1.

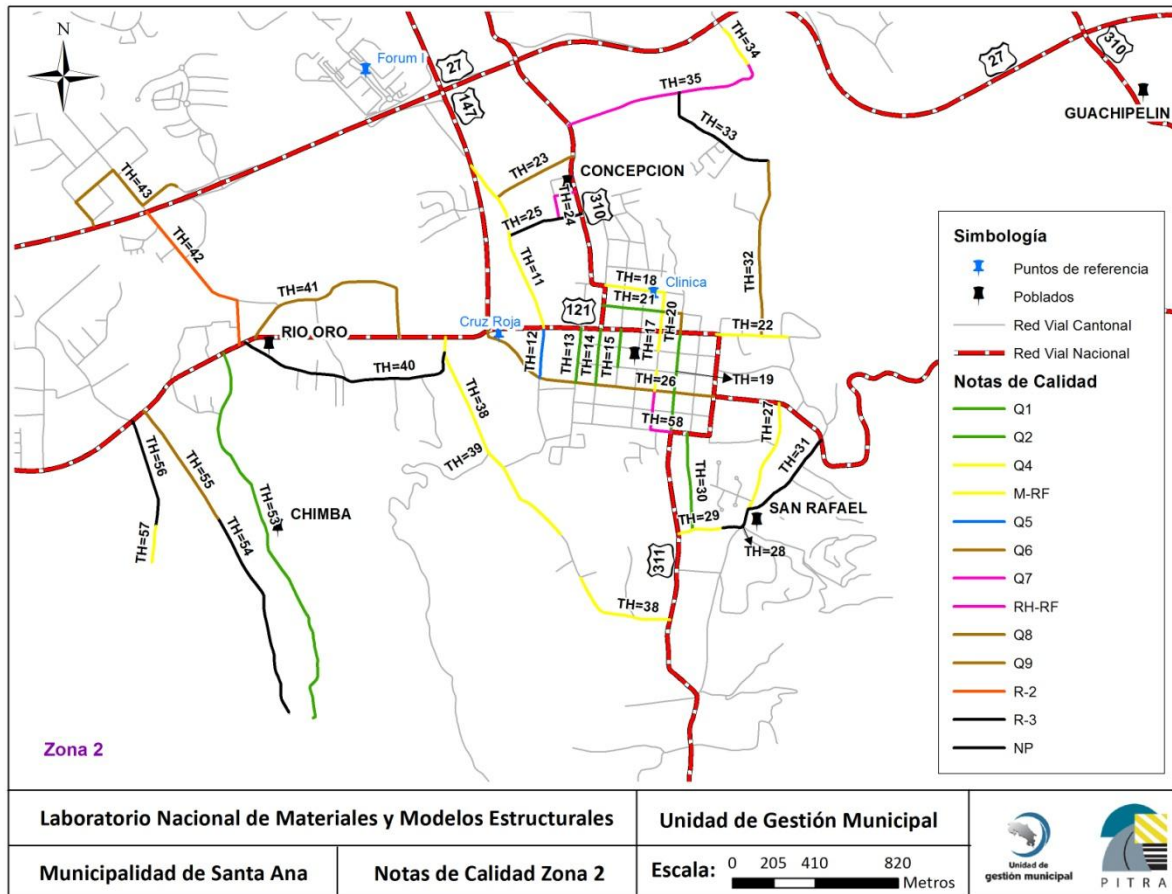


Figura 21. Notas de Calidad para los tramos homogéneos analizados en la zona 2.

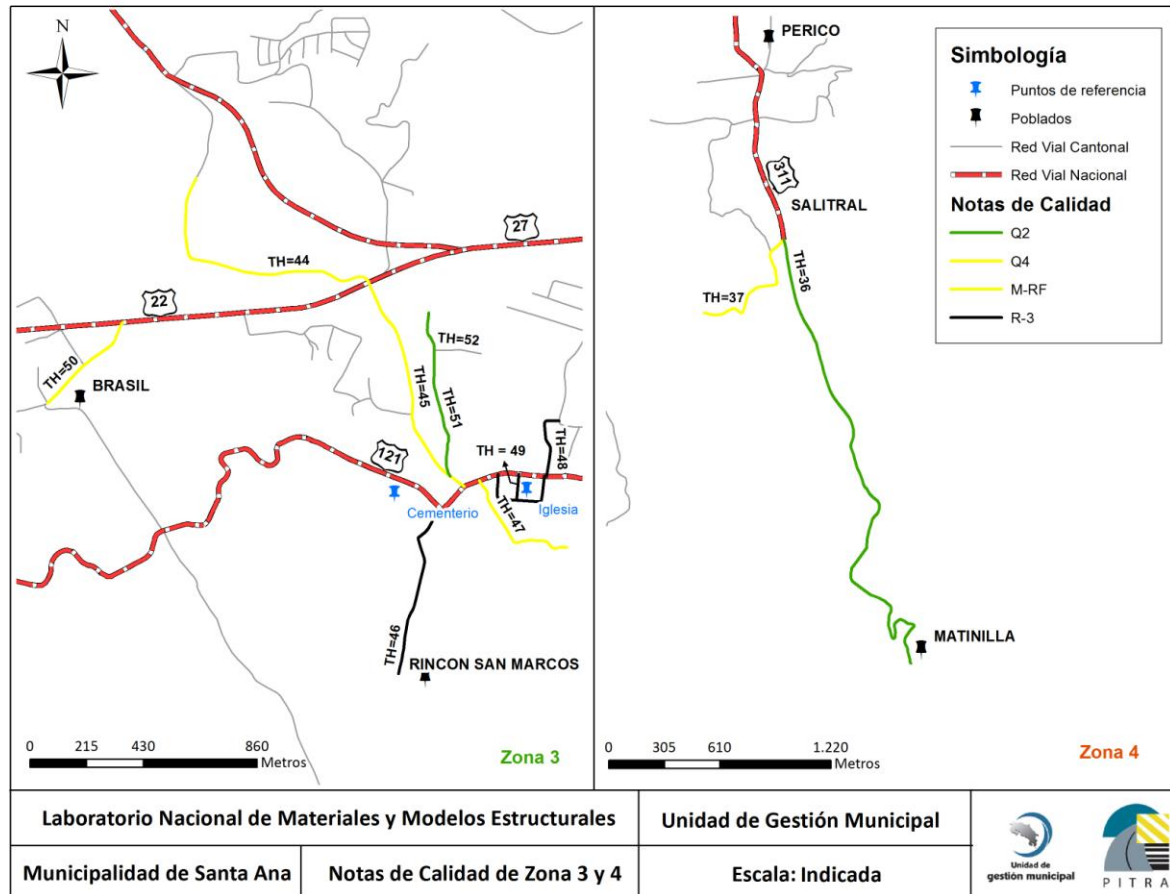


Figura 22. Notas de Calidad para los tramos homogéneos analizados en las zonas 3 y 4.

En la Figura 23, puede observarse la distribución porcentual de las diferentes notas de calidad de los tramos homogéneos, en las cuales las notas de calidad Q4 y R-3 son aquellas con porcentajes mayores (22% y 17%, respectivamente).

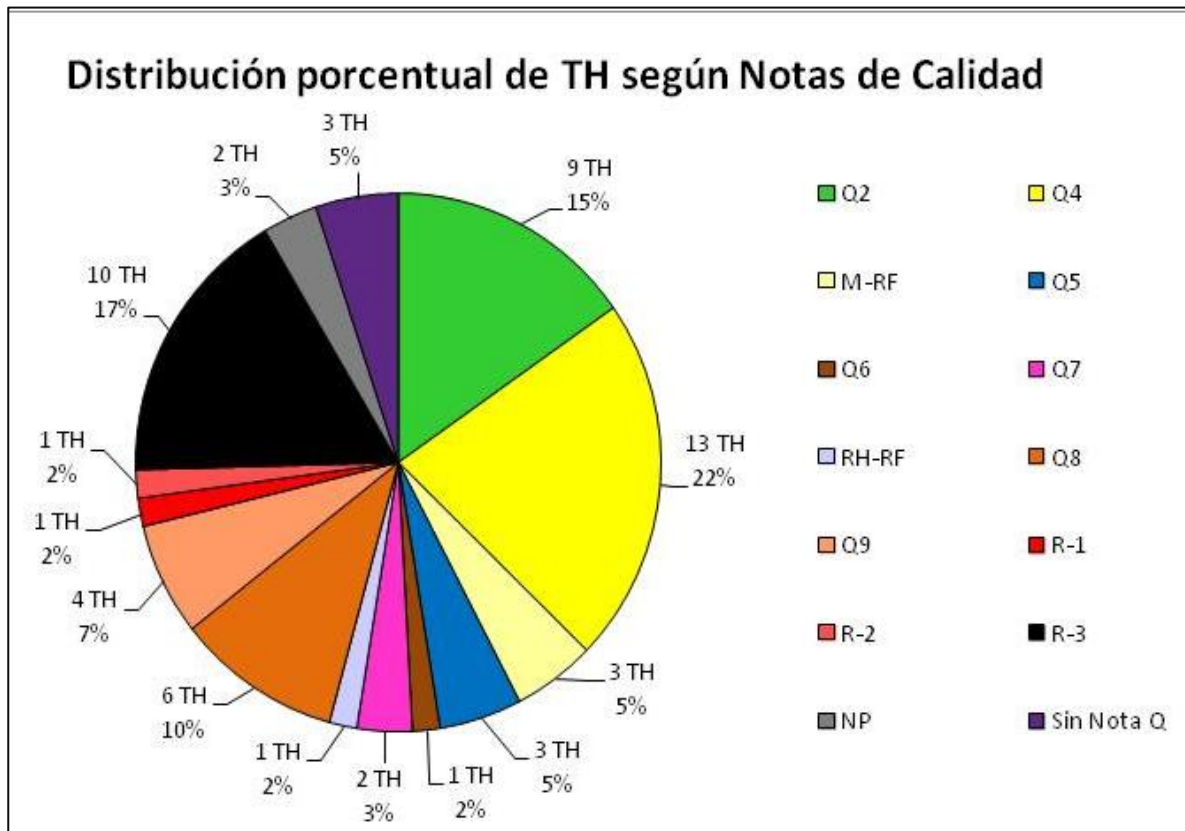


Figura 23. Distribución porcentual de las notas de calidad asignadas a cada tramo homogéneo.

3.3 Tipos de intervención

La nota de calidad asignada a cada tramo es producto de la caracterización de la capacidad estructural y funcional de la red en estudio. El análisis realizado a los tramos homogéneos permite recomendar para cada uno de ellos, el tipo de estrategia de intervención que se requiere (a nivel de gestión).

Las intervenciones recomendadas son generales y se enfocan en el análisis a nivel de red, por lo que son una herramienta útil para la gestión y la definición de estrategias de intervención en un determinado periodo de tiempo (plan de inversiones), con el objetivo fundamental de mejorar el estado de la red vial de manera paulatina y sostenida.



Es necesario que las estrategias presentadas a nivel de red sean ajustadas para ser aplicadas a un nivel táctico-operativo, con el objetivo de generar el diseño de las intervenciones a nivel de proyecto y determinar así el presupuesto específico necesario para ejecutar cada uno de los proyectos que se definen como prioritarios por el municipio.

Los tipos de intervención a los que se hace referencia en cada una de las notas de calidad son una adaptación de las utilizadas en el informe LM-PI-UE-05-11 del LanammeUCR para evaluar la condición de la red vial nacional y se mencionan a continuación:

- **Mantenimiento de Preservación:** Son aplicables a estructuras que se encuentran en buen estado (funcional y estructural), son intervenciones de bajo costo relativo. Existen diferentes tipos de intervenciones de este tipo, entre ellos: *sand seal*, *slurry seals*, *fog seal*, *chip seals*, sellados de grietas y microcarpetas, entre otros. El objetivo fundamental de este tipo de intervenciones es prolongar la vida útil del pavimento y corregir deterioros funcionales de leve intensidad.
- **Mantenimiento de recuperación funcional (IRI):** Su objetivo es mejorar la condición funcional del tramo, por lo que no necesariamente aportan estructuralmente. En estos casos se puede considerar labores de sustitución de la superficie de ruedo, recuperando los espesores existentes con material nuevo, o el uso de geotextiles para retardar el reflejo de grietas y una labor de perfilado o recuperación de la calzada. Este tipo de intervenciones deberían ser ejecutadas con prioridad alta, para evitar que la gran irregularidad superficial provoque un daño en la capacidad estructural.
- **Análisis a nivel de proyecto:** Se requiere de una evaluación detallada del tramo con el fin de definir mejor el tipo de intervención adecuada.
- **Rehabilitación Menor:** Permite recuperar la capacidad estructural en niveles intermedios así como la capacidad funcional en niveles críticos. En estos tramos se podría aplicar un perfilado y una sobrecarpeta.
- **Rehabilitación Mayor:** Los tramos que califican para este tipo de intervención requieren una recuperación importante de la capacidad estructural. Por lo que se

recomienda un perfilado y la colocación de una nueva sobrecarpeta que responda a un diseño estructural que considere la capacidad estructural remanente de la sección existente para un período de diseño determinado.

- **Reconstrucción:** Renovación de la estructura del camino, con previa demolición parcial o total de la estructura del pavimento. Este tipo de intervención es la de más alto costo y requiere de un diseño estructural formal.

En la Figura 24, se muestra de manera sencilla la categorización de cada nota de calidad según el tipo de intervención que se recomienda a nivel de red. Es necesario hacer la diferencia entre el tipo de intervención identificada con color naranja y rojo, ya que a pesar de que ambos tipos de intervenciones se refieren a una rehabilitación mayor, las notas de calidad representadas con el color rojo requieren que la intervención se realice de forma inmediata, ya que de no ser así estos tenderán a deteriorarse rápidamente siendo requerida una reconstrucción del pavimento.

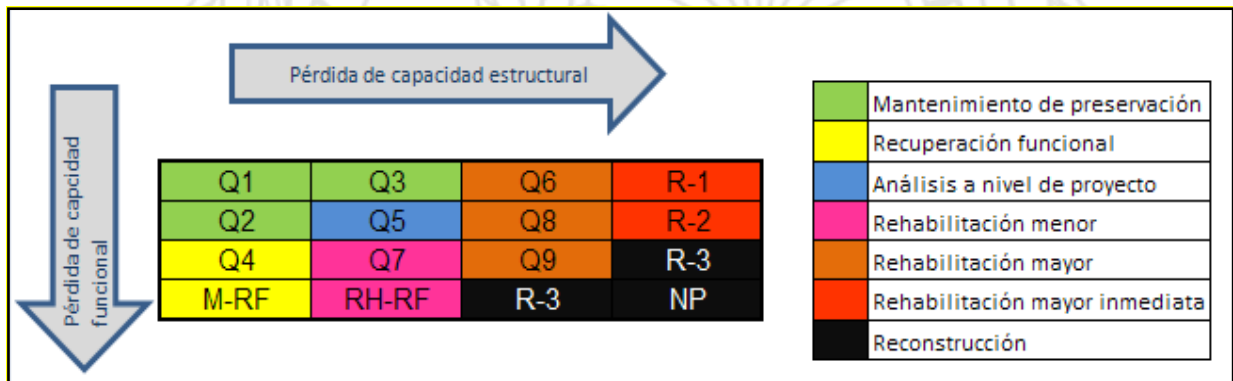


Figura 24. Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la Tabla 6, puede observarse el tipo de intervención (a nivel de red) propuesto para cada tramo homogéneo en la localidad de Santa Ana, con base en las mediciones y evaluaciones realizadas en el 2013 por el personal del LanammeUCR y la UTGV de Santa Ana.

Tabla 6. Tipo de intervención requerida a nivel de red para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de Santa Ana.

Tramo	Long (m)	Notas Q	Tipo Intervención
1	179	Q5	Análisis a nivel de proyecto
2	247	R-3	Reconstrucción
3	450	Q8	Rehabilitación mayor
4	763	Q5	Análisis a nivel de proyecto
5	1210	R-3	Reconstrucción
6	1334	Q8	Rehabilitación mayor
7	581	Q9	Rehabilitación mayor
8	693	Q4	Recuperación funcional
9	735	Q8	Rehabilitación mayor
10	615	Q4	Recuperación funcional
11	895	Q4	Recuperación funcional
12	249	Q5	Análisis a nivel de proyecto
13	271	Q2	Mantenimiento de preservación
14	279	Q2	Mantenimiento de preservación
15-1	98	R-1	Rehabilitación Mayor Inmediata
15-2	186	Q2	Mantenimiento de preservación
16	193	Sin Nota Q	Sin tipo de intervención
17	197	Q4	Recuperación funcional
18	487	Q4	Recuperación funcional
19	499	Q2	Mantenimiento de preservación
20	191	Q9	Rehabilitación mayor
21	293	Q2	Mantenimiento de preservación
22	352	Q4	Recuperación funcional
23	426	Q8	Rehabilitación mayor
24	222	RH-RF	Rehabilitación menor
25	376	NP	Reconstrucción
26	1226	Q6	Rehabilitación mayor
27	561	Q4	Recuperación funcional
28	189	NP	Reconstrucción
29	225	M-RF	Recuperación funcional
30	478	Q2	Mantenimiento de preservación
31	511	R-3	Reconstrucción
32	868	Q8	Rehabilitación mayor
33	626	R-3	Reconstrucción
34	209	Q4	Recuperación funcional
35	1013	Q7	Rehabilitación menor
36	2940	Q2	Mantenimiento de preservación

Tramo	Long (m)	Notas Q	Tipo Intervención
37	785	Q4	Recuperación funcional
38	1705	Q4	Recuperación funcional
39	417	Sin Nota Q	Sin tipo de intervención
40	1122	R-3	Reconstrucción
41	1061	Q9	Rehabilitación mayor
42	863	R-2	Rehabilitación Mayor Inmediata
43	827	Q8	Rehabilitación mayor
44	1018	Q4	Recuperación funcional
45	886	Q4	Recuperación funcional
46	678	R-3	Reconstrucción
47	486	M-RF	Recuperación funcional
48	269	R-3	Reconstrucción
49	451	R-3	Reconstrucción
50	426	M-RF	Recuperación funcional
51	638	Q2	Mantenimiento de preservación
52	180	Sin Nota Q	Sin tipo de intervención
53	1980	Q2	Mantenimiento de preservación
54	1044	R-3	Reconstrucción
55	644	Q9	Rehabilitación mayor
56	542	R-3	Reconstrucción
57	179	Q4	Recuperación funcional
58	299	Q7	Rehabilitación menor

Es importante hacer énfasis en que estos resultados son válidos al momento de la evaluación (año 2013 y 2014), por lo tanto para planificar las diferentes intervenciones es importante contrastar esos resultados con lo observado en sitio al momento de los trabajos.

En la Figura 25 y Figura 26, puede observarse la distribución porcentual de los tipos de intervención requeridos según la cantidad de kilómetros analizados (37,4 km); es de apreciar que un 20% (7,5 km) de la longitud evaluada posee una buena condición estructural y funcional, por lo que únicamente requieren de un mantenimiento de preservación si se desea mantener el pavimento en buenas condiciones; un 3% necesita una valoración a nivel de proyecto para determinar cuál sería el mejor tipo de intervención que podría aplicársele, ya que se encuentran en una condición intermedia.



Se determinó que un total de 16 tramos homogéneos (9,7 km) requieren una recuperación de su capacidad funcional que permita mejorar la regularidad superficial del pavimento, ya que este se encuentra con una buena condición estructural pero existen daños en la superficie de ruedo.

De los tramos evaluados 3 son candidatos para una rehabilitación menor (1,5 km); mientras que 11 tramos analizados (8,3 km) requieren una rehabilitación mayor, ya que su capacidad estructural ha disminuido considerablemente. Asimismo, 960 m de la longitud evaluada requieren una intervención de rehabilitación mayor inmediata, pues de lo contrario en poco tiempo podría cambiar de condición y necesitar de trabajos de reconstrucción.

Un 19% de la longitud evaluada en Santa Ana (7,3 km) debe aplicársele una reconstrucción parcial o total del pavimento ya que este ha llegado al final de su vida útil y presenta daños severos.

Finalmente, se menciona que la sección de los gráficos en color morado representa aquellos tramos en los que no fue posible clasificarlos con notas de calidad, es decir, que no disponen de evaluaciones de índice de regularidad internacional, o bien su superficie de rodamiento no cumple con las características típicas de un estructura de pavimento, por lo que de igual forma no es posible incluirlos en la metodología que se aplica en este informe.

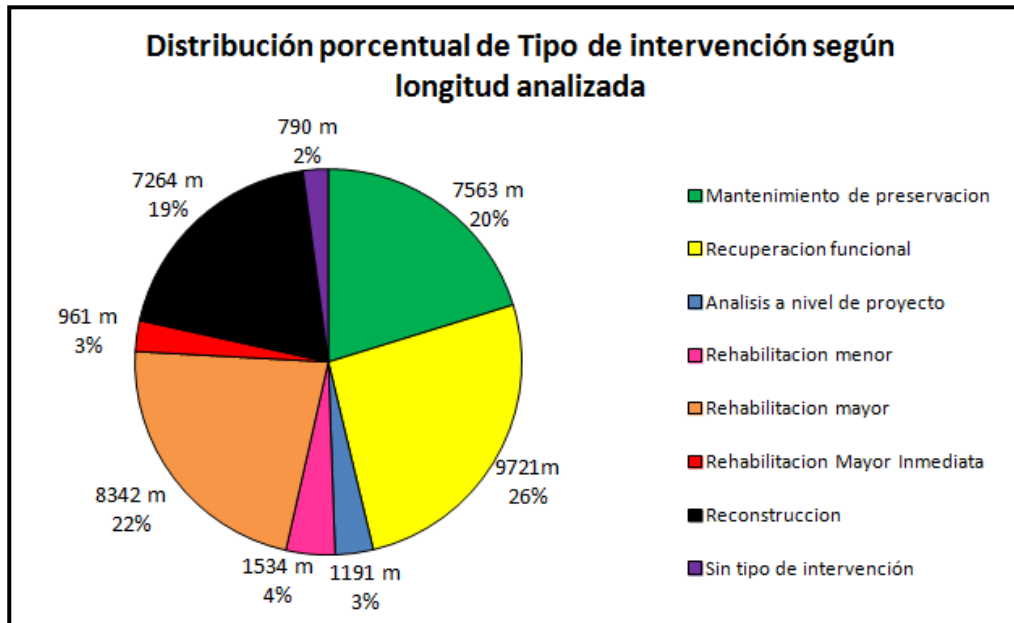


Figura 25. Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de Santa Ana, según longitud.

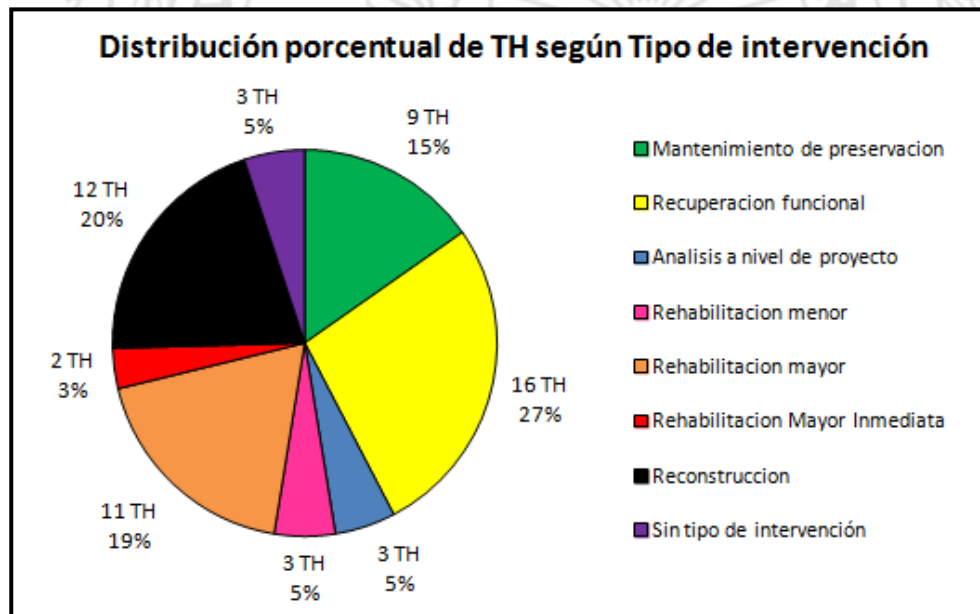


Figura 26. Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de Santa Ana, según cantidad de tramos.

En la Figura 27, Figura 28 y Figura 29 se observa de manera gráfica el tipo de intervención propuesta para cada uno de los tramos homogéneos, según el estado estructural, las mediciones del IRI y otras evaluaciones realizadas entre los años 2013 y 2014.

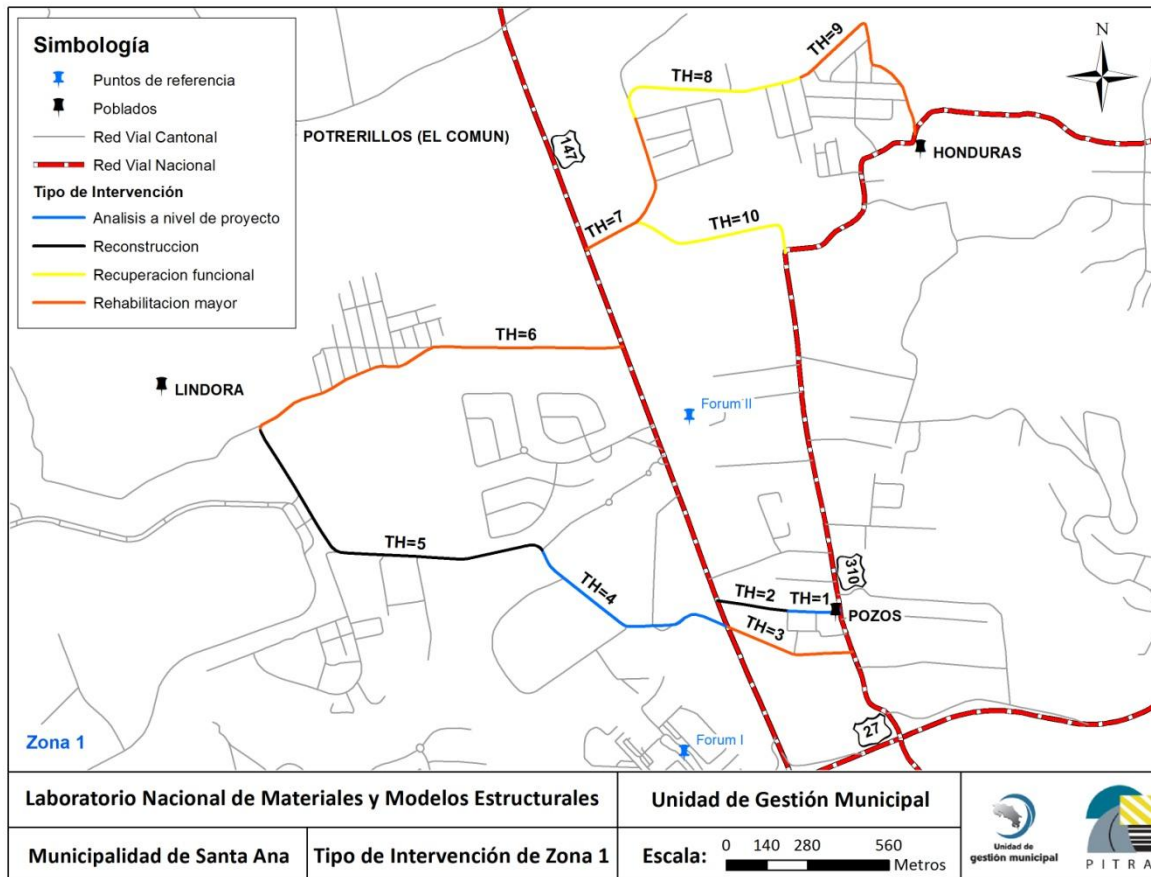


Figura 27. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo zona 1.

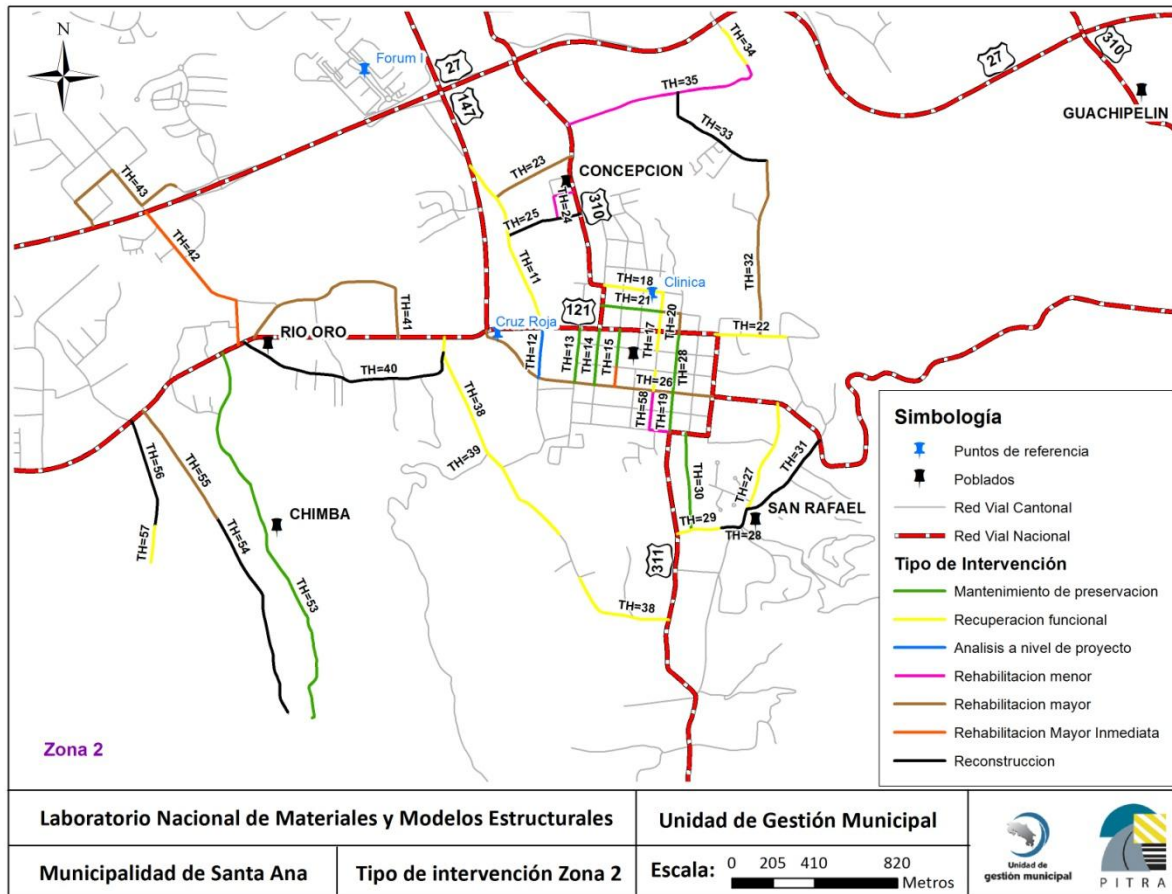


Figura 28. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo zona 2.

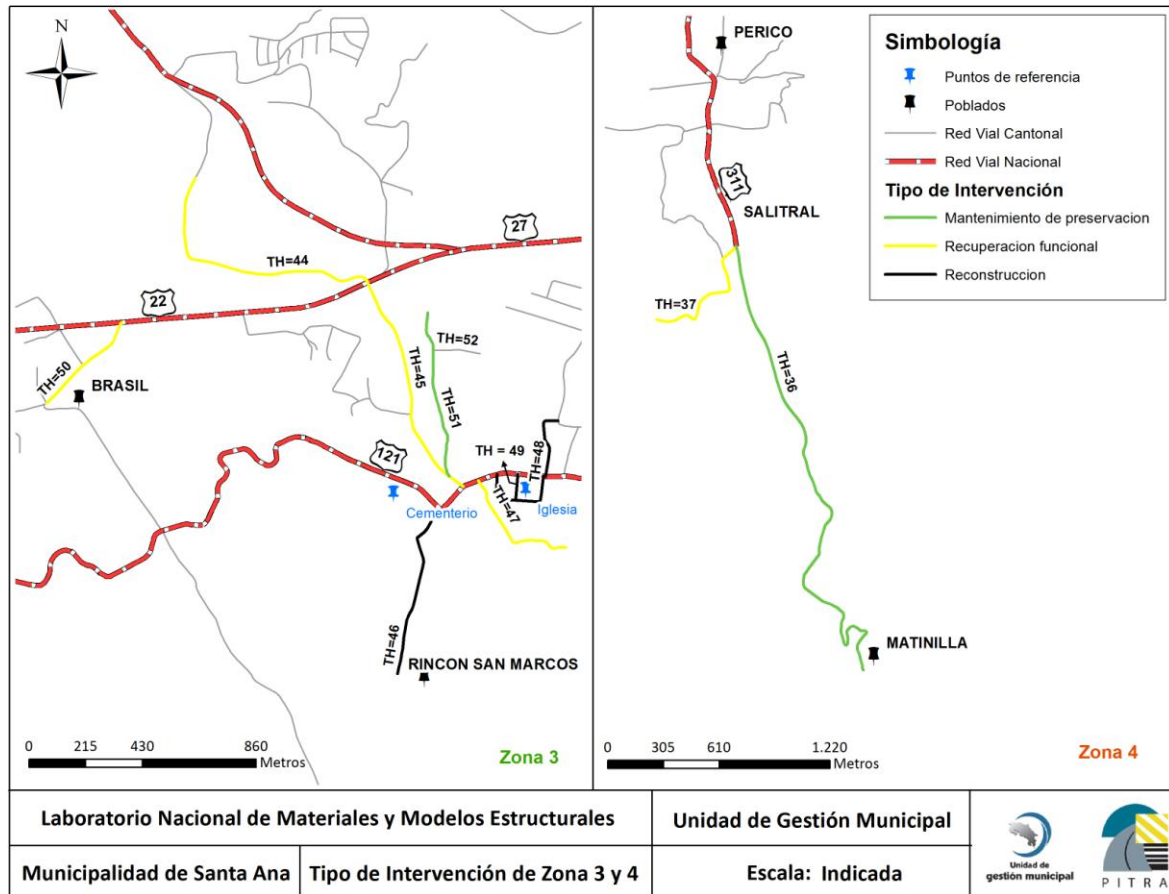


Figura 29. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo en la zona 3 y 4.

3.4 Diseño y Costos de los Tratamientos

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

- Mantenimiento de preservación.
- Recuperación funcional (IRI).
- Análisis a nivel de proyecto.
- Rehabilitación menor.
- Rehabilitación mayor.
- Reconstrucción.



Para diseñar las diferentes intervenciones es necesario realizar un retrocálculo 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, por medio de la 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, y 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 Santa Ana.

Los costos generales de cada tipo de tratamiento se obtienen realizando una investigación del costo que representa para la municipalidad aplicar cada una de las intervenciones. Los costos totales de cada intervención se estiman al determinar los costos 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.

Es importante recalcar que los costos son generados para estructuras características de las rutas municipales de Santa Ana para un análisis a nivel estratégico; por lo tanto, para presupuestar o definir con exactitud el costo específico para un proyecto, se debe realizar un análisis y diseño formal del tipo de intervención para cada proyecto, es decir, realizar un análisis a nivel de proyecto.

3.5 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 invertir 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 que 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 institucionales que posee la municipalidad.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

De acuerdo con las pruebas y mediciones realizadas en la red vial cantonal de Santa Ana durante el año 2013, un 48% de la longitud de tramos analizados, correspondiente a 17,9 km de los 37,4 km evaluados poseen una buena condición estructural, mientras que un 45% de la longitud de los tramos evaluados (16,7 km) posee deflexiones altas, lo que implica que la estructura del pavimento no posee la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas a la que se encuentra expuesta.

En cuanto al estado funcional de la red vial, se tiene que únicamente 2 tramos homogéneos, con una longitud total de 1,3 km, se encuentran en una buena condición funcional; 14 km (38% de longitud de tramos analizados), que se encuentran en una condición regular con valores de IRI entre 3,6 y 6,4 m/km, y 21 km (56% de longitud evaluada) se encuentran en una condición de deterioro superficial muy avanzada, lo que implica mayores costos de operación (desgaste de llantas, combustible, etc.) para los usuarios y mayores tiempos de viaje; además, la irregularidad en los pavimentos provoca un desgaste acelerado en la estructura de pavimento al generarse un impacto dinámico de las llantas de los vehículos sobre la superficie asfáltica.

Se generaron 59 tramos homogéneos para la localidad de Santa Ana, 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, pero esto no impide que se puedan dar uniones en los mismos, posterior a un análisis de costos.

Entre los resultados más relevantes del análisis de la red vial cantonal de Santa Ana, se obtiene que para las condiciones del pavimento, 9 km (25% de la red vial analizada) requieren algún tipo de refuerzo estructural, que proporcione el soporte requerido para resistir las cargas de tránsito con un nivel de servicio aceptable. De las rutas evaluadas 7,2 km requieren algún tipo de reconstrucción, lo cual implica intervenir parte o todas las capas granulares de la estructura. Además, 7,6 km evaluados poseen la condición funcional y estructural aptas para realizar labores de mantenimiento correctivo o preventivo.

Es importante recalcar que los diferentes tipos de intervenciones sugeridos 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 análisis a nivel de proyecto antes de la planeación y la ejecución de la obra.

Además, estas recomendaciones se proponen como soluciones óptimas generales a la condición de cada tramo homogéneo al realizar la evaluación, 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, un 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 necesarios y los costos de ejecución del municipio. Así mismo, se recomienda intervenir tramos que se encuentren dentro de la categoría de rehabilitación mayor, para evitar tener que hacer mayores intervenciones a un corto plazo, ya que tramos con esta condición se deterioran con rapidez, pasando a notas de calidad R-2 o R-3, donde lo que se requeriría es una reconstrucción y por lo tanto inversiones mayores, de igual forma deberían tener prioridad los tramos en la

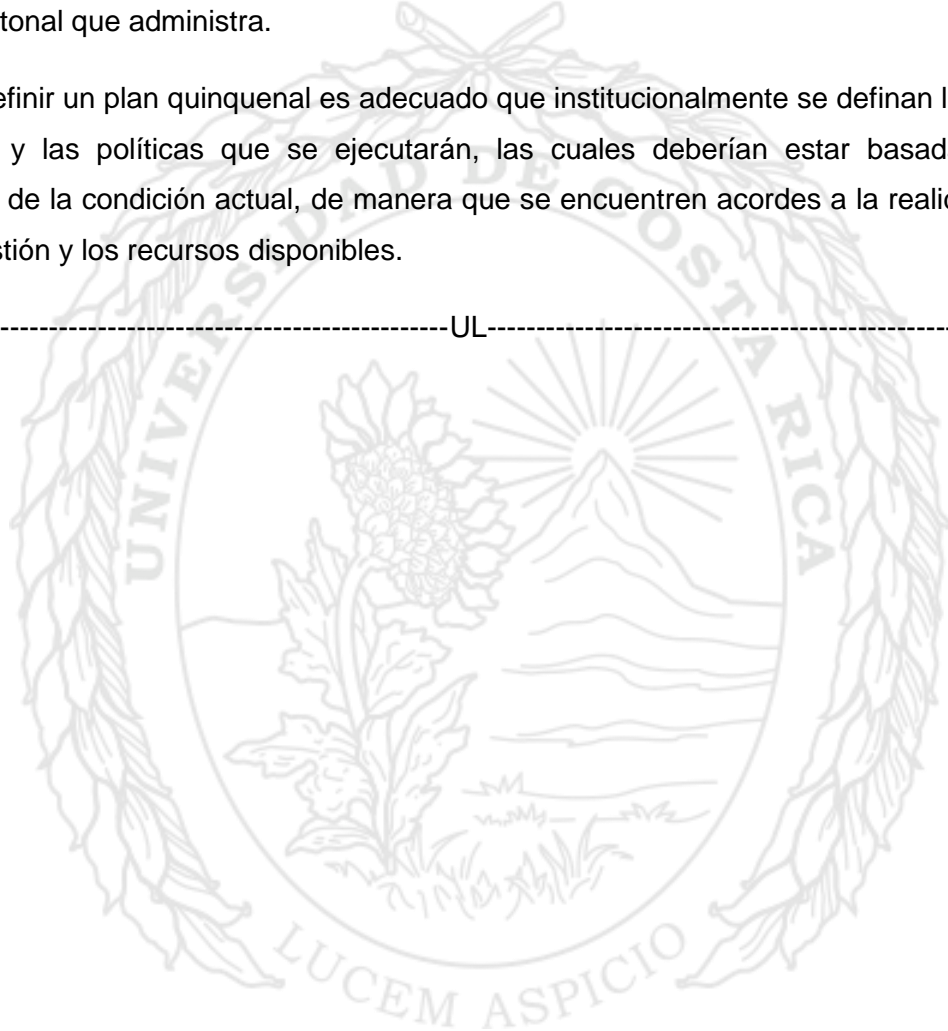


condición de preservación, para prolongar la vida útil de los mismos y maximizar la inversión realizada.

Es necesario que en 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 ejecutarán, las cuales deberían estar basadas en el diagnóstico de la condición actual, de manera que se encuentren acordes a la realidad de la red en cuestión y los recursos disponibles.

-----UL-----





5 REFERENCIAS

- 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.
- Proyecto N° UI-PC-04-08, Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices de red vial nacional, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José Costa Rica. Noviembre, 2008.
- Solminihac H. (1998). Gestión de Infraestructura Vial; Editorial Universidad Católica de Chile, Chile.