



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PITRA

Programa de
Infraestructura
del Transporte

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL
CANTONAL DE SAN ISIDRO DE
HEREDIA:

DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS POR
SECCIONES

LM-PI-GM-INF-08-17

PREPARADO POR

Xu-Ye, Lilly

Vargas-Sobrado, Catalina



programa de infraestructura
del transporte

PITRA

San José, Costa Rica
Noviembre, 2017

UGM

Unidad de
Gestión Municipal

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN ISIDRO DE HEREDIA: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS POR SECCIONES

Xu-Ye Lilly¹, Vargas-Sobrado Catalina²

1. Ingeniera Unidad de Gestión Municipal PITRA LanammeUCR
2. Ingeniera Unidad de Gestión Municipal PITRA LanammeUCR

Palabras Clave: PITRA, Evaluación, Gestión, Red vial cantonal, San Isidro

Resumen: El presente estudio forma parte de los productos esperados a partir de la firma del Convenio de Cooperación entre la UCR y la Municipalidad de San Isidro de Heredia, en donde se contempló el análisis de las principales rutas de la red vial (35,4 km) del cantón. Durante los años 2016 y 2017 se ejecutaron 34 conteos vehiculares, 22 sondeos a cielo abierto y la evaluación de la condición de los pavimentos mediante ensayos de índice de Regularidad Internacional (IRI) y deflectometría. Esto permitió realizar el diagnóstico de la red vial, la identificación y caracterización de 57 secciones de la carretera que presentaron condiciones similares de deterioro (respetando la división establecida a través del código de camino municipal), además de conocer la composición por capas de los pavimentos, el tipo de suelo que poseen y las características del tránsito vehicular.

El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo indicó que un 29% (10,1 km) de la longitud evaluada presentan una condición deficiente a muy deficiente con respecto a capacidad estructural. En cuanto a los valores promedio de IRI, se determinó que aproximadamente 15,3 km (44%) presenta un IRI superior a 6,4 m/km, que corresponde a una condición mala o muy mala.

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 analizados. 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 Belén, 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

EVALUATION OF THE CANTONAL ROAD NETWORK OF SAN ISIDRO, HEREDIA: DIAGNOSIS AND ANALYSIS BY SECTIONS

Xu-Ye Lilly ¹, Vargas-Sobrado Catalina ²

1. *Engineer of Municipal Management Department PITRA LanammeUCR*
2. *Engineer of Municipal Management Department PITRA LanammeUCR*

Keywords: PITRA, Evaluation, Management, Cantonal road network, San Isidro

Abstract: The study carried out is part of the products expected from the Cooperation Agreement between the University of Costa Rica and the Municipality of San Isidro, where the main routes of the road network was contemplated (35,4 km). During 2016 and 2017, 34 vehicular counts, 22 soil samples and the evaluation of pavements condition by means of the international roughness index (IRI) and falling weigh deflectometer (FWD) test were done. This allowed the diagnosis of the road network, the identification and characterization of 57 sections of the road with similar deterioration conditions (following the division established through the municipal road code), as well as the composition of pavement layers, the type of soil they have and characteristics of vehicular traffic.

The results of the analysis show that 29% (10,1 km) of the road evaluated with FWD has a poor to very poor structural capacity condition. Likewise, the study of the average values of IRI shows that approximately 15,3 km (44 % of the road) had an IRI higher than 6,4 m/km, corresponding to a bad or very bad surface condition.

One of the most important products included in the analysis, is the proposal of general intervention type at network level, based on the condition of each 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 they manage.

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 Belén, 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., & Porrás-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 (UIIV). San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
5. Barrantes-Jimenez, R., Sibaja-Obando, D., & Porrás-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

Xu-Ye, L., & Vargas-Sobrado, C. (2017). *Evaluación de la red vial cantonal de San Isidro: Diagnóstico y análisis por secciones en la red vial cantonal*. San José: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-GM-INF-08-17

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN ISIDRO DE HEREDIA: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS POR SECCIONES

Preparado por:
Unidad de Gestión Municipal
LanammeUCR

San José, Costa Rica
Noviembre, 2017




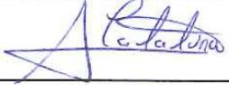

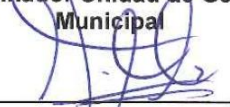
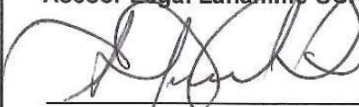
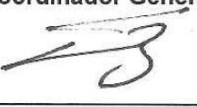
1. Informe LM-PI-GM-INF-08-17		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN ISIDRO: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS POR SECCIONES EN LA RED VIAL CANTONAL.		4. Fecha del Informe: Noviembre, 2017
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias		
7. Resumen El presente estudio forma parte de los productos esperados a partir de la firma del Convenio de Cooperación entre la UCR y la Municipalidad de San Isidro de Heredia, en donde se contempló el análisis de las principales rutas de la red vial (35,4 km) del cantón. Durante los años 2016 y 2017 se ejecutaron 34 conteos vehiculares, 22 sondeos a cielo abierto y la evaluación de la condición de los pavimentos mediante ensayos de índice de Regularidad Internacional (IRI) y deflectometría. Esto permitió realizar el diagnóstico de la red vial, la identificación y caracterización de 57 secciones de la carretera que presentaron condiciones similares de deterioro (respetando la división establecida a través del código de camino municipal), además de conocer la composición por capas de los pavimentos, el tipo de suelo que poseen y las características del tránsito vehicular. El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo indicó que un 29% (10,1 km) de la longitud evaluada presentan una condición deficiente a muy deficiente con respecto a capacidad estructural. En cuanto a los valores promedio de IRI, se determinó que aproximadamente 15,3 km (44%) presenta un IRI superior a 6,4 m/km, que corresponde a una condición mala o muy mala. 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 analizados. 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.		
8. Palabras clave PITRA, Evaluación, Gestión, Red vial cantonal, San Isidro	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 63
11. Preparado por: Ing. Lilly Xu Ye Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 2011/11/2017	Ing. Catalina Vargas Sobrado Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 2011/11/17	12. Encargado de convenio Ing. Sharline López Ramírez Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 2011/11/2017
13. Revisado por: Lic. Carlos Campo Cruz Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 2011/11/17	14. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Lanamme UCR  Fecha: 2011/11/17	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 2011/11/17



TABLA DE CONTENIDO

1	ANTECEDENTES	6
1.1	ASESORÍA TÉCNICA:.....	6
1.2	TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y CAPACITACIÓN:.....	7
1.3	DECRETO N° 40138: REGLAMENTO AL INCISO B) DEL ARTÍCULO 5 DE LA LEY N° 8114.....	7
2	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL	7
2.1	IMPORTANCIA.....	7
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP)	8
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL	11
2.4	ESQUEMA METODOLÓGICO.....	12
3	DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN ISIDRO DE HEREDIA	14
3.1	OBJETIVO	14
3.2	ACTIVIDADES	14
3.2.1	<i>TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD)</i>	15
3.2.2	<i>IDENTIFICAR LA CONDICIÓN FUNCIONAL</i>	19
3.2.3	<i>IDENTIFICAR CONDICIÓN ESTRUCTURAL</i>	23
3.2.4	<i>CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO</i>	26
3.2.5	<i>ANÁLISIS POR RUTAS</i>	40
3.2.6	<i>NOTAS CALIDAD</i>	45
3.3	TIPOS DE INTERVENCIÓN	52
3.4	DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	58
3.5	ESCENARIOS DE INVERSIÓN.....	59
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
4.1	CONCLUSIONES	60
4.2	RECOMENDACIONES.....	62
5	REFERENCIAS	63



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Categorización del Índice de Regularidad Internacional	21
Cuadro 2. Espesores de las capas del pavimento según los sondeos realizados	27
Cuadro 3. Sondeos agrupados por poseer características generales similares.....	29
Cuadro 4. Clasificación del tipo de suelo de la subrasante en los sondeos realizados	35
Cuadro 5. Clasificación del CBR	36
Cuadro 6. Índice de soporte CBR.....	37
Cuadro 7. Resultados de la granulometría y tipo de partículas de las bases granulares	38
Cuadro 8. Notas de calidad de acuerdo con los resultados de la condición de IRI y FWD ...	46
Cuadro 9. Nota de calidad asignada a cada tramo analizado en la localidad de San Isidro ..	49
Cuadro 10. Tipo de intervención requerida a nivel de red para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de San Isidro	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos.....	9
Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.....	11
Figura 3. Esquema metodológico.....	13
Figura 4. Rutas analizadas en la localidad de San Isidro de Heredia	15
Figura 5. Mangueras y contadores automáticos en sitio.....	16
Figura 6. Configuración de los contadores	16
Figura 7. Ubicación de los conteos en la localidad de San Isidro de Heredia.	18
Figura 8. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de San Isidro	19
Figura 9. Representación física del Índice de Regularidad Internacional.....	20
Figura 10. Perfilómetro Inercial Láser.....	21
Figura 11. Condición del IRI para las mediciones realizadas en San Isidro de Heredia	22
Figura 12. Distribución porcentual de la condición según el IRI.....	23
Figura 13. Equipo de deflectometría de impacto	23
Figura 14. Condición del pavimento para una estructura con base granular	24
Figura 15. Condición del FWD para las mediciones realizadas en San Isidro de Heredia	25
Figura 16. Distribución porcentual de la condición según FWD.....	25

Informe LM-PI-GM-INF-08-17	Fecha de emisión: Noviembre, 2017	Página 4 de 63
----------------------------	-----------------------------------	----------------



Figura 17. Ejemplo de estructura de pavimento	26
Figura 18. Ubicación de los sondeos realizados en San Isidro.....	27
Figura 19. Ubicación de los sondeos realizados para caracterizar la subrasante en San Isidro de Heredia	29
Figura 19. Caracterización de los suelos según clasificación SUCS en San Isidro de Heredia	31
Figura 20. Caracterización de los suelos según clasificación AASHTO en San Isidro de Heredia	34
Figura 21. Prueba de CBR en sitio.....	36
Figura 22. Clasificación del CBR según Bowles, en la localidad de San Isidro de Heredia ..	37
Figura 23. Porcentaje de partículas friables y arcillosas en las bases granulares analizadas en San Isidro de Heredia	39
Figura 24. Ubicación de diferentes secciones de análisis.....	41
Figura 25. Deflectometría promedio de las vías analizadas	42
Figura 26. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio.....	43
Figura 27. Porcentaje de tramos clasificados según el FWD promedio	43
Figura 28. IRI promedio para las vías analizadas.....	44
Figura 29. Porcentaje de metros lineales clasificados según el IRI promedio.....	45
Figura 30. Porcentaje de tramos clasificados según el IRI promedio.....	45
Figura 31. Notas de Calidad para los tramos analizados.....	51
Figura 32. Distribución porcentual de las notas de calidad asignadas a cada sección analizada	52
Figura 33. Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad	53
Figura 34. Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de San Isidro, según longitud.....	57
Figura 35. Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de San Isidro, según cantidad de tramos	57
Figura 36. Tipo de intervención recomendado para cada tramo analizado.....	58



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 (RVN). 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 (RVC) y en lo que razonablemente sea aplicable, las municipalidades y la Universidad de Costa Rica, por intermedio del LanammeUCR, 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 San Isidro de Heredia solicitó el apoyo técnico del LanammeUCR para evaluar la condición de 35,4 km de la red vial asfaltada que administra. Con el propósito de unir esfuerzos para lograr objetivos comunes, la Municipalidad de San Isidro y la Universidad de Costa Rica convienen en suscribir un Convenio Marco, que presenta las áreas de trabajo que se definen a continuación:

1.1 Asesoría Técnica:

La Unidad de Gestión Municipal del PITRA-LanammeUCR brindará asesoría técnica a la Municipalidad para realizar las siguientes actividades:

1. El diagnóstico de la condición y funcionamiento de la Red Vial Cantonal, mediante coordinación entre ambas partes, para cuyo efecto la Municipalidad se compromete a disponer de recursos para realizar los sondeos, ensayos y estudios requeridos con este propósito.
2. Realizar un diagnóstico del funcionamiento de la Unidad Técnica de Gestión Vial (UTGV), y de las capacidades institucionales de gestión de la Red Vial Cantonal.

Informe LM-PI-GM-INF-08-17	Fecha de emisión: Noviembre, 2017	Página 6 de 63
----------------------------	-----------------------------------	----------------



3. Elaborar conjuntamente el Plan Vial Quinquenal de Conservación y Desarrollo de la Red Vial Cantonal.
4. Colaborar en la implementación del Plan Vial Quinquenal de Conservación y Desarrollo de la Red Vial Cantonal, y desarrollo de un Sistema Técnico de Gestión Vial Municipal.

1.2 Transferencia de Tecnología y Capacitación:

La Unidad de Gestión Municipal del PITRA-LanammeUCR realizará actividades de transferencia de tecnología y capacitación, dirigidas a los funcionarios municipales y líderes comunales involucrados en la gestión de la Red Vial Cantonal. “

1.3 Decreto N° 40138: Reglamento al inciso b) del artículo 5 de la Ley N° 8114

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. En el artículo 3, se establece la necesidad por parte de la municipalidad de disponer de recurso humano técnico y profesional adecuado para desarrollar las competencias de gestión vial.

Además, entre las principales funciones municipales para la gestión vial se menciona la elaboración y ejecución de los Planes Viales Quinquenales de Conservación y Desarrollo, además de 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. Asimismo, 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 y así verificar el desempeño de las intervenciones realizadas a lo largo de su vida útil.

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

Informe LM-PI-GM-INF-08-17	Fecha de emisión: Noviembre, 2017	Página 7 de 63
----------------------------	-----------------------------------	----------------



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 el empleo adecuado 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 da 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 San Isidro 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 vial 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 estratégicos para desarrollar proyectos de conservación y mejoramiento de sus vías de forma preventiva y garantizando un nivel de servicio adecuado de forma continua.

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 incrementar el 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.

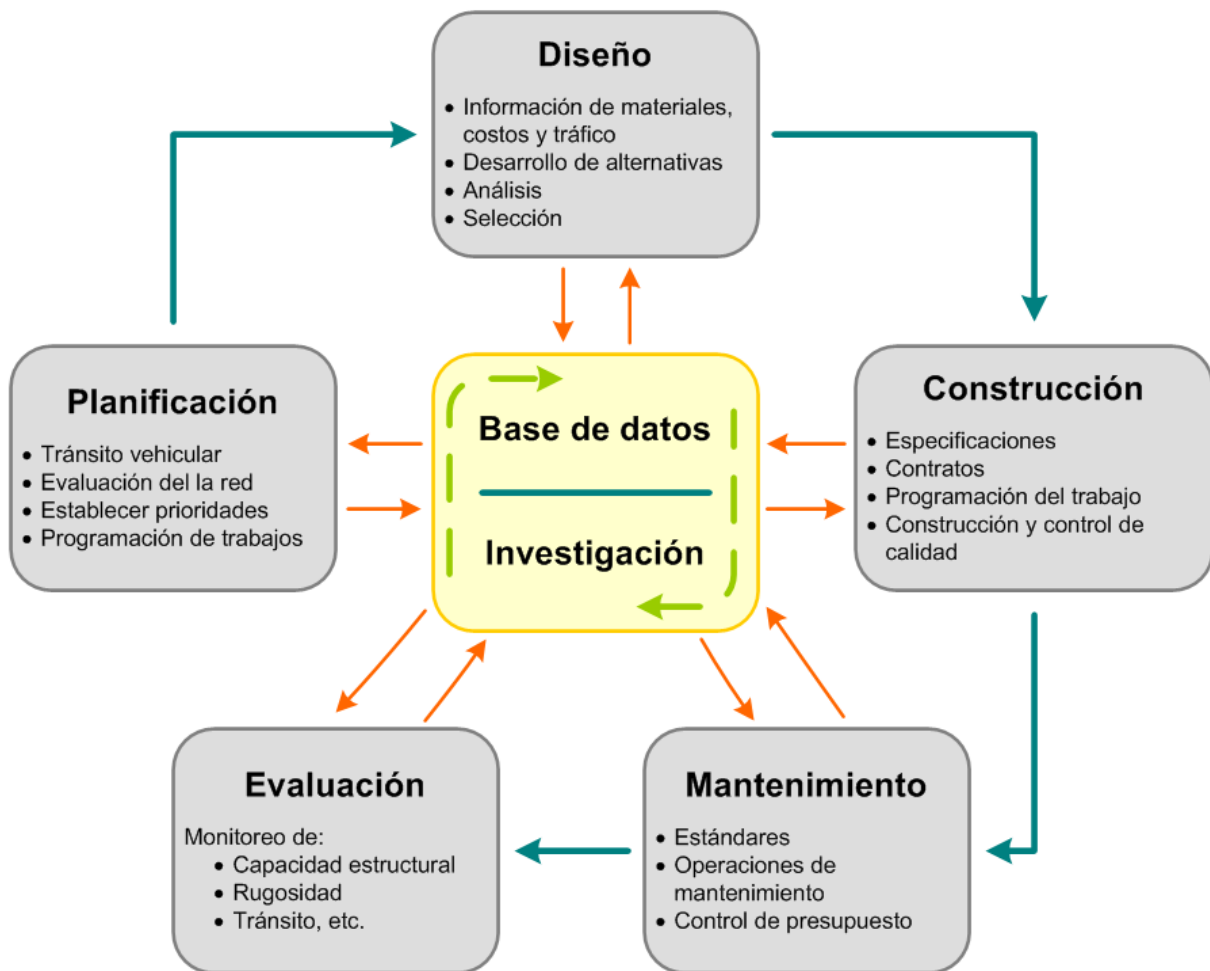


Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos

Fuente: Modificado de Haas, 1993



La gestión de pavimentos debe ser empleada 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, habilitando la posibilidad de agregar, actualizar y modificar datos 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 realimentación 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 del paso de vehículos y el peso asociado a ellos, solicitudes de medio ambiente, materiales empleados y formas de construcción, mantenimiento, entre otros. 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 humana, de la flota vehicular y la actividad económica generan mayores cantidades de vehículos y camiones viajando por las carreteras, lo cual impone mayores cargas sobre las estructuras de pavimentos, que atraen con mayor fuerza la implementación de un sistema de gestión de pavimentos. 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

Informe LM-PI-GM-INF-08-17	Fecha de emisión: Noviembre, 2017	Página 10 de 63
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

pavimento, pero en forma progresiva deben aplicarse herramientas que permitan gestionar la conservación e incorporar los demás elementos (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



Tal y como se observa en el esquema anterior, uno de los procesos principales de la gestión vial es el diagnóstico técnico, en el cual el producto principal es la base de datos 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.

De acuerdo con la clasificación presentada, los Planes Viales Quinquenales de Conservación y Desarrollo son parte de un nivel de gestión a mediano plazo, es decir a un nivel táctico, es por esto que el análisis de las vías se realiza a nivel de red.

2.4 Esquema Metodológico

En la Figura 3, se presenta el esquema metodológico implementado para determinar el diagnóstico de la RVC. Es importante aclarar que el alcance de este informe se extiende hasta la conformación y análisis de secciones con mismo código de camino municipal y condición del pavimento similares, a través de la determinación de notas de calidad y recomendaciones de intervención.

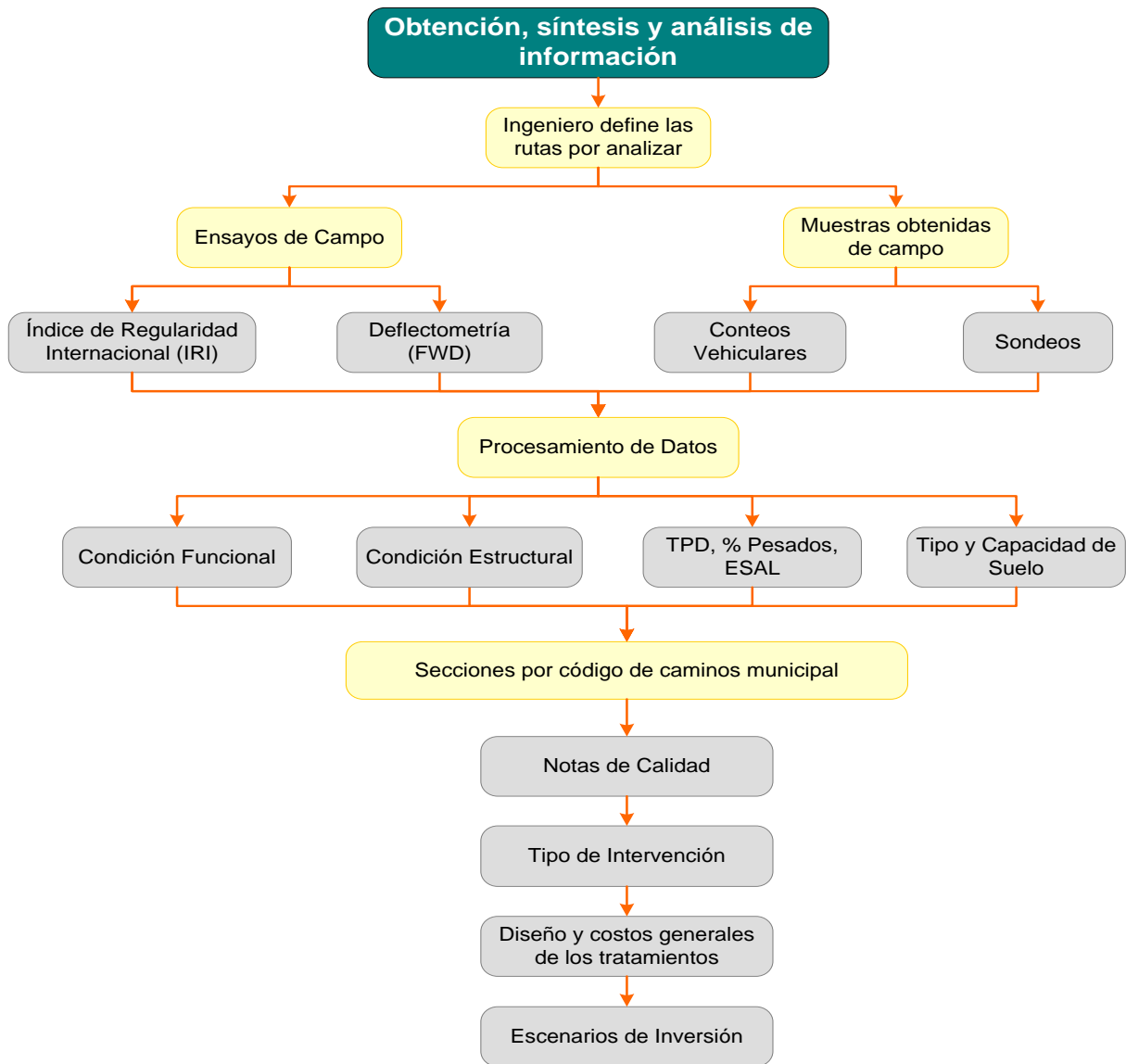


Figura 3. Esquema metodológico



3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN ISIDRO DE HEREDIA

3.1 Objetivo

Realizar el diagnóstico y evaluación de 35,4 km de la red vial cantonal de la Municipalidad de San Isidro de Heredia, con el fin de obtener una base de datos con diferentes características técnicas de la infraestructura vial que permita la emisión de recomendaciones y sirva de fundamento para la toma de decisiones en la selección de alternativas oportunas de intervención.

3.2 Actividades

El análisis de la RVC (mostrada en la Figura 4) se dispone de las siguientes actividades con productos asociados:

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

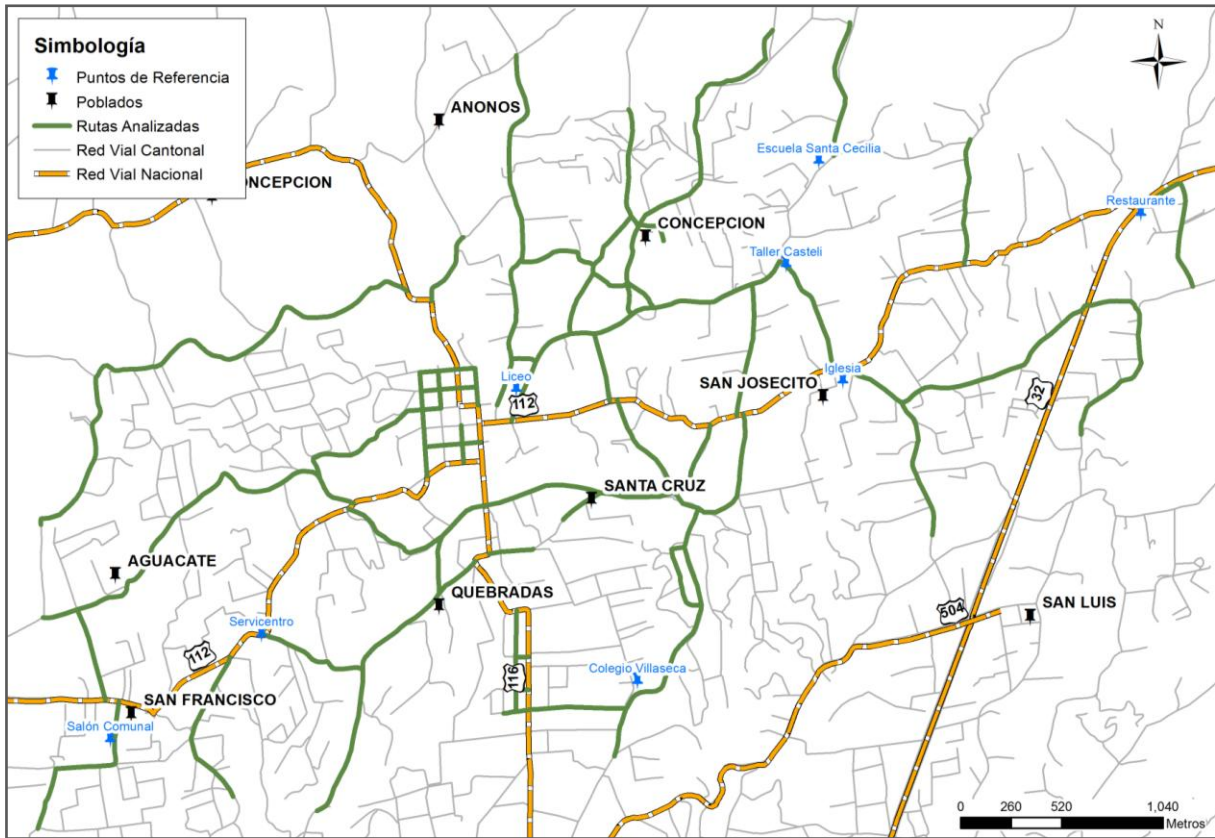


Figura 4. Rutas analizadas en la localidad de San Isidro de Heredia

3.2.1 Tránsito promedio diario (TPD)

Para realizar un adecuado planeamiento de la inversión en la infraestructura vial es fundamental conocer las características del tránsito que circula sobre la estructura del pavimento, tanto la cantidad como el tipo de vehículos. Los datos actualizados del tráfico permiten identificar la demanda vehicular de la zona, el cual es un dato básico para diseñar una estructura del pavimento que se adapte a las necesidades del sitio, o bien para implementar medidas correctivas como un refuerzo o mantenimiento oportuno.

Por esto, personal de la Municipalidad de San Isidro realizó conteos vehiculares sobre sitios representativos de la red vial del cantón analizada, empleando contadores neumáticos facilitados por el LanammeUCR, después de haber recibido la capacitación respectiva.

Algunos aspectos que se deben considerar al realizar conteos de tránsito son:

Informe LM-PI-GM-INF-08-17	Fecha de emisión: Noviembre, 2017	Página 15 de 63
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

- Realizarlos durante períodos de tránsito normal, nunca en vacaciones o días feriados.
- Realizarlos entre los días lunes y viernes, preferiblemente martes, miércoles o jueves para evitar el efecto fin de semana.
- Realizar conteos de 24 horas para tomar en cuenta ambos períodos de hora pico, y facilitar el análisis del cálculo del TPDA (Tránsito promedio diario anual).
- Escoger los sitios de mayor flujo vehicular de la calle o tramo a evaluar.

Dado que el volumen y tipo de tránsito cambian constantemente, se recomienda realizar los conteos de manera periódica, aproximadamente cada año o máximo cada dos años; pues además, sirve de insumo en la determinación de una tasa de crecimiento del tránsito vehicular para la red en cuestión.

A continuación, se presentan dos configuraciones recomendadas para la colocación de los contadores vehiculares en campo (ver Figura 5 y Figura 6).



Figura 5. Mangueras y contadores automáticos en sitio

Fuente: LanammeUCR, 2008

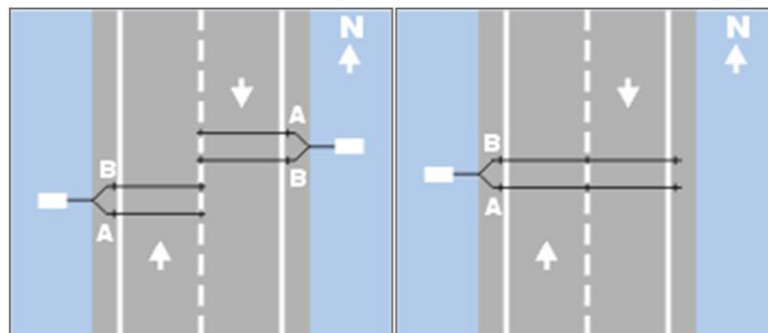


Figura 6. Configuración de los contadores

Fuente: LanammeUCR, 2008



La configuración de la izquierda en la Figura 6 muestra la disposición ideal, el de la derecha muestra una configuración más simple pero que resulta en pérdida de precisión.

Durante los años 2016 y 2017, la Municipalidad de San Isidro realizó un total de 34 conteos vehiculares en calles representativas en la zona analizada, con el propósito de caracterizar la flota vehicular y conocer el tipo de cargas a las cuales está sometida la estructura de pavimento. En la Figura 7 se muestra la ubicación exacta de los conteos realizados, con su respectivo valor de tránsito promedio diario (TPD) y tránsito promedio diario anual (TPDA).

Cabe mencionar que se realizaron 4 conteos sobre la RVN (conteos 19, 20, 21 y 22) para tener datos de referencia en el comportamiento vehicular de la zona. No se tomaron en cuenta para el análisis de la red vial cantonal, únicamente se determinó el TPD al ser información útil para la Municipalidad.

A razón de que son los vehículos pesados los que ejercen un mayor desgaste sobre el pavimento, adicionalmente se presenta su porcentaje con respecto al total de tránsito evaluado, el cual se obtiene mediante la suma de diferentes tipos de vehículos pesados, los cuales corresponden a: camiones con eje simple trasero (C2+), camiones con eje dual trasero (C2), buses con eje dual trasero (C2 Bus), camiones con eje tándem trasero (C3) y tracto camiones con semirremolque (T3-S2). En la Figura 8 se muestra el porcentaje de vehículos pesados obtenido para la red vial cantonal analizada, en donde el promedio corresponde a un valor de 6,3% con valores mínimos y máximos de 2,7% y 16,3%.

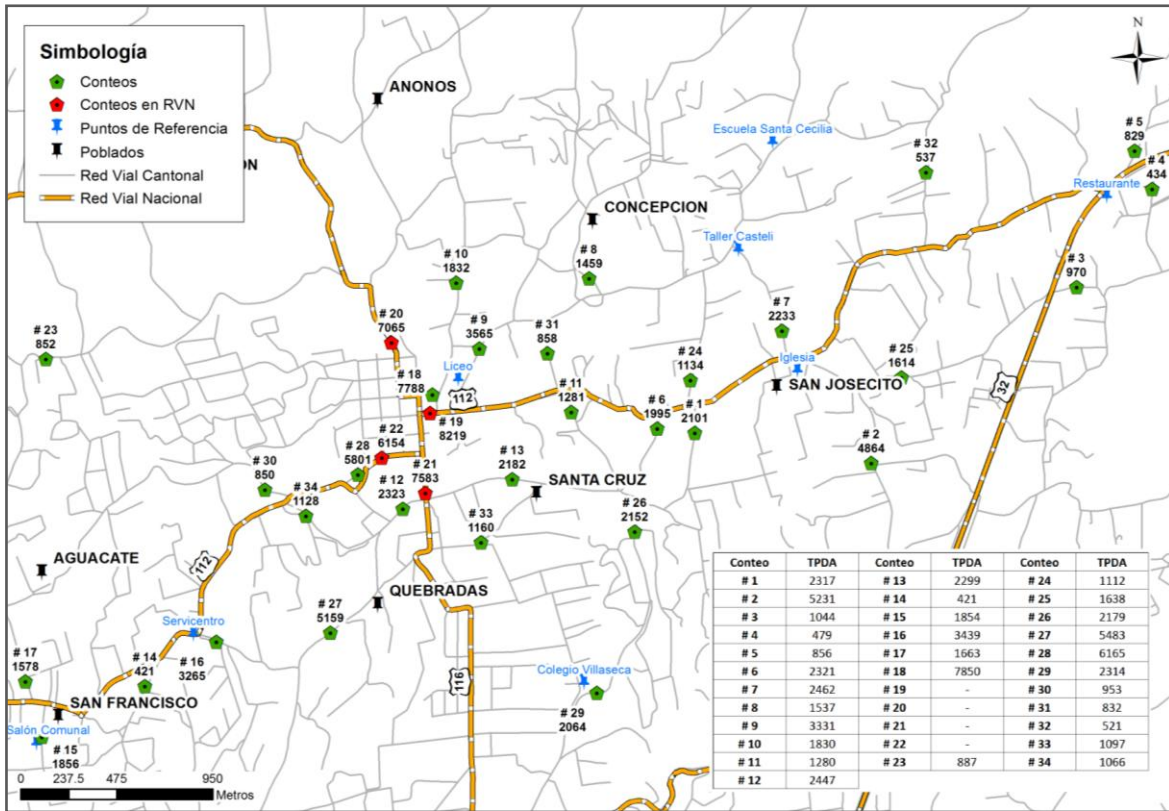


Figura 7. Ubicación de los conteos en la localidad de San Isidro de Heredia.

Fuente: LanammeUCR, 2016 (Información recopilada por UTGVM-San Isidro)

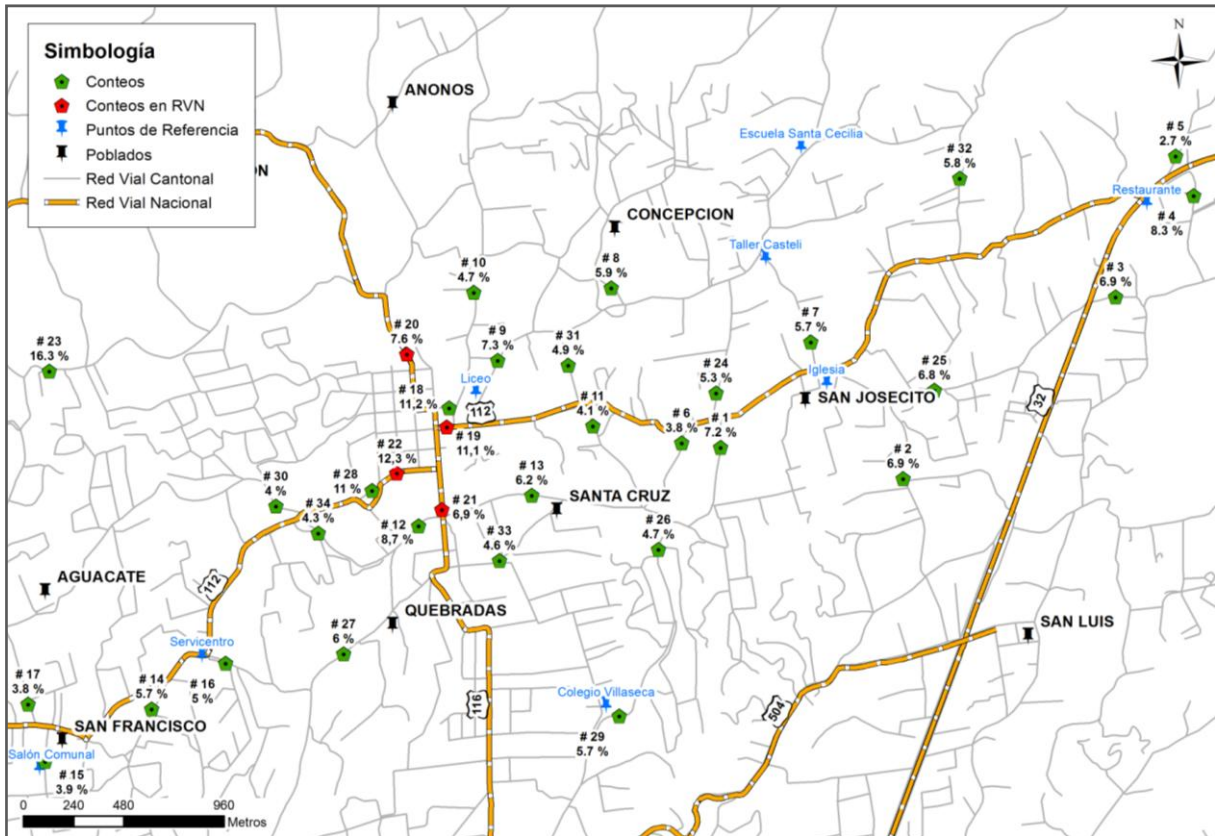


Figura 8. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de San Isidro

Fuente: LanammeUCR, 2016 (Información recopilada por UTGVM-San Isidro)

3.2.2 Identificar la condición funcional

La condición funcional de una carretera corresponde a la capacidad de la vía para proporcionar servicio y confort a los usuarios, y es estimada mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

3.2.2.1 Índice de Regularidad Internacional (IRI).

El IRI es utilizado en muchos países como parámetro de aceptación de obras y gestión de pavimentos, pues se encuentra relacionado con los costos de operación de los vehículos y la vida útil de los pavimentos.

Este parámetro resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la regularidad de un camino en un vehículo de pasajeros típico; además, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadora (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 irregularidad aumenta, como se presenta en la Figura 9.

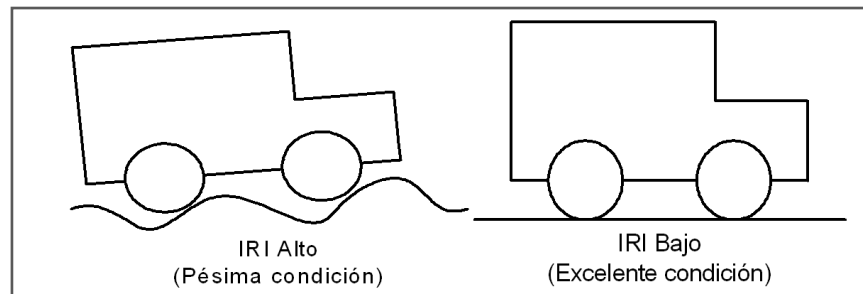


Figura 9. Representación física del Índice de Regularidad Internacional

Fuente: LanammeUCR, 2008

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino; sin embargo, puesto que el IRI es el valor medio de los IRI unitarios, para ser preciso se debe especificar la longitud para la cual se determina dicho valor.

El equipo utilizado en el LanammeUCR para la medición del IRI es del tipo Perfilómetro Inercial Laser, el cual es un equipo de alto rendimiento que produce medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino. Las mediciones son independientes de cualquier variación en el peso y velocidad del vehículo, temperatura, color y textura del pavimento.

Este equipo mide la distancia del suelo al vehículo con un medidor láser ubicado en la parte delantera del vehículo, como se muestra en el esquema de funcionamiento del equipo de la Figura 10.

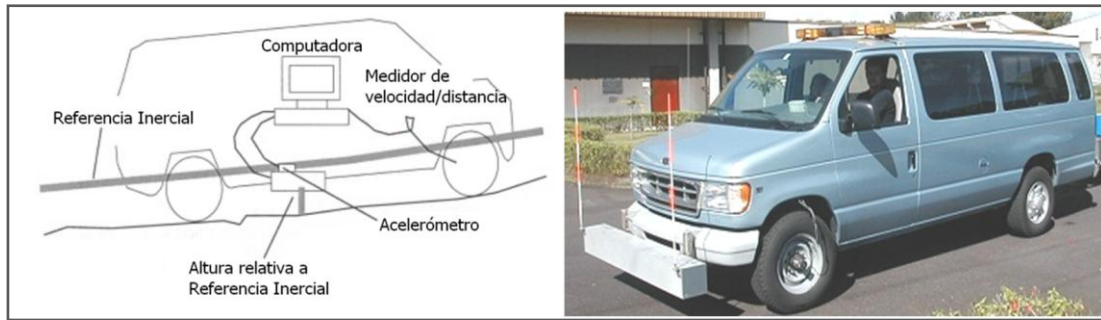


Figura 10. Perfilómetro Inercial Láser

Fuente: LanammeUCR, 2008

El IRI se evaluó sobre la red vial pavimentada a cada 25 metros durante el mes de noviembre del año 2016, abarcando las rutas contempladas en el convenio, cubriendo una longitud aproximada de 35,4 km. En la Figura 11, se muestran gráficamente los resultados de estas mediciones, las cuales se clasificaron según la calidad funcional en los cuatro rangos presentados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Categorización del Índice de Regularidad Internacional

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

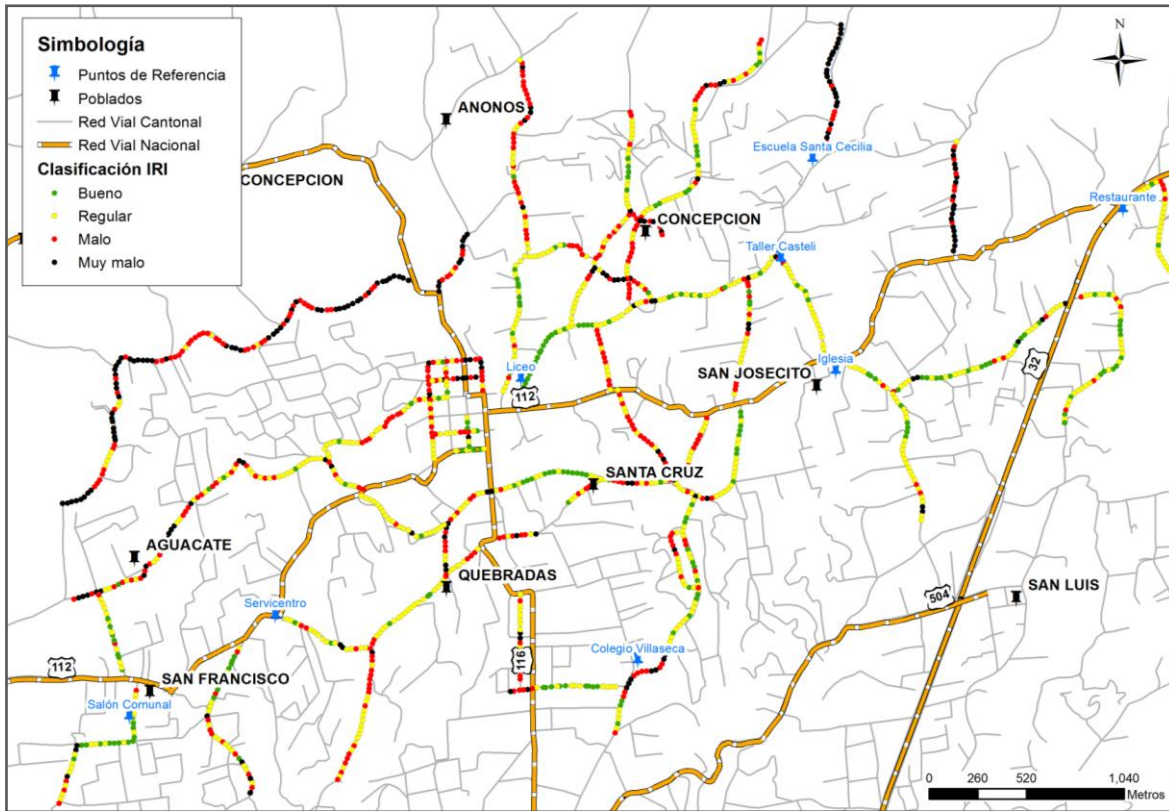


Figura 11. Condición del IRI para las mediciones realizadas en San Isidro de Heredia

En la Figura 12 se presenta la distribución porcentual de cada una de las mediciones de IRI en las cuatro categorías definidas. Se determinó que un 43% de las estimaciones de IRI a cada 25 metros se encuentran en la categoría "Regular", además, un 27% y 15% se pueden clasificar en las categorías de "Malo" y "Muy Malo" respectivamente, es decir que un 42% de la evaluación presenta valores mayores a 6,4 m/km lo cual caracteriza a una superficie de ruedo con bajo nivel de confort y altos gastos de operación para los vehículos que la transitan. Únicamente 15% de las mediciones presenta una "Buena" condición funcional.

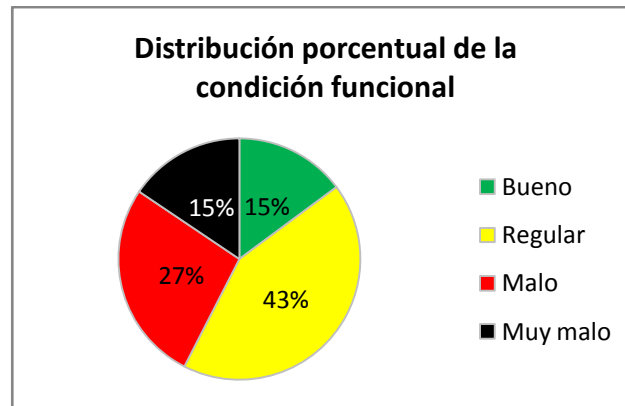


Figura 12. Distribución porcentual de la condición según el IRI

3.2.3 Identificar condición estructural

Conocer la capacidad estructural de un pavimento permite determinar la respuesta que éste tendrá ante las cargas de tránsito a las que se encuentra expuesto, y es posible determinarla mediante la utilización de equipos como el Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés).

El procedimiento para la aplicación de este equipo consiste en dejar caer una carga de impacto estándar sobre el pavimento y medir las deflexiones en nueve puntos a diferentes distancias respecto al punto exacto donde se aplicó la carga. A continuación en la Figura 13 se muestra el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.

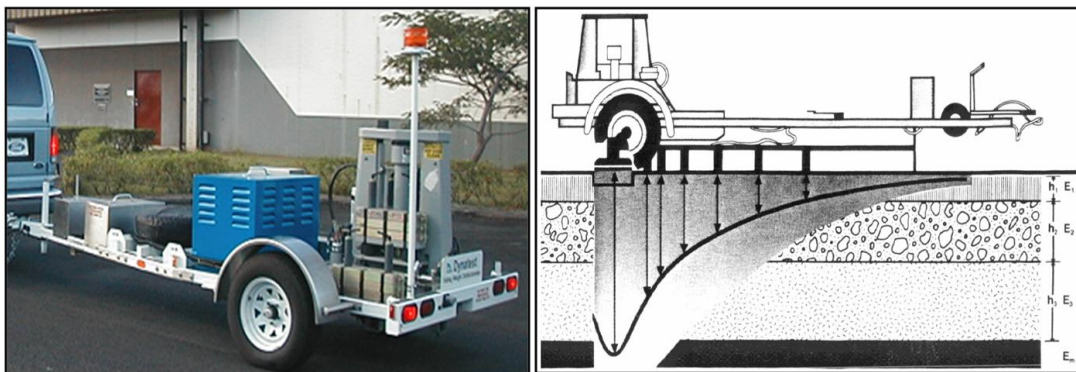


Figura 13. Equipo de deflectometría de impacto

Fuente: LanammeUCR, 2008

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 14, la clasificación de los valores obtenidos en el ensayo de deflectometría en una estructura con base granular es tomada a partir de un estudio denominado Proyecto LM-PI-GM-03-2014 (LanammeUCR, 2014), en el cual se determinaron rangos según parámetros observados en diferentes zonas de la RVC.

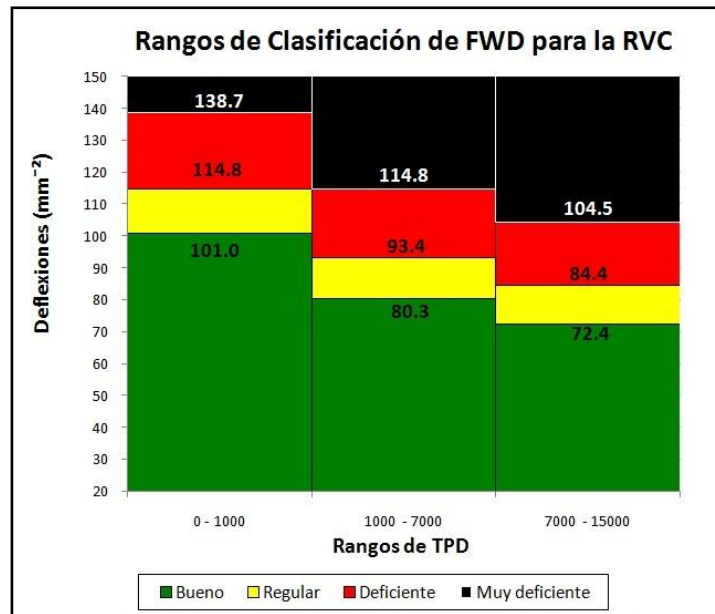


Figura 14. Condición del pavimento para una estructura con base granular

Fuente: LanammeUCR, 2014

Para la red vial de San Isidro estas mediciones se realizaron con el equipo Deflectómetro de Impacto a cada 50 metros a lo largo de 35,4 km de la red considerada para la evaluación, durante el mes de noviembre del 2016. A continuación en la Figura 15 se muestra gráficamente los resultados de la evaluación realizada, y es de apreciar que existe una gran cantidad de mediciones en la categoría de "Bueno" en los diferentes caminos evaluados.

En el gráfico de la Figura 16 se muestra que un 58% de todas las mediciones realizadas presentan una buena condición estructural, es decir, se espera que soporten adecuadamente las cargas que le generan los vehículos. Sin embargo, un 30% de las mediciones del pavimento presentan un desempeño "Deficiente" o "Muy deficiente", por lo podrían requerir acciones de refuerzo o reconstrucción para que puedan trabajar de manera óptima.

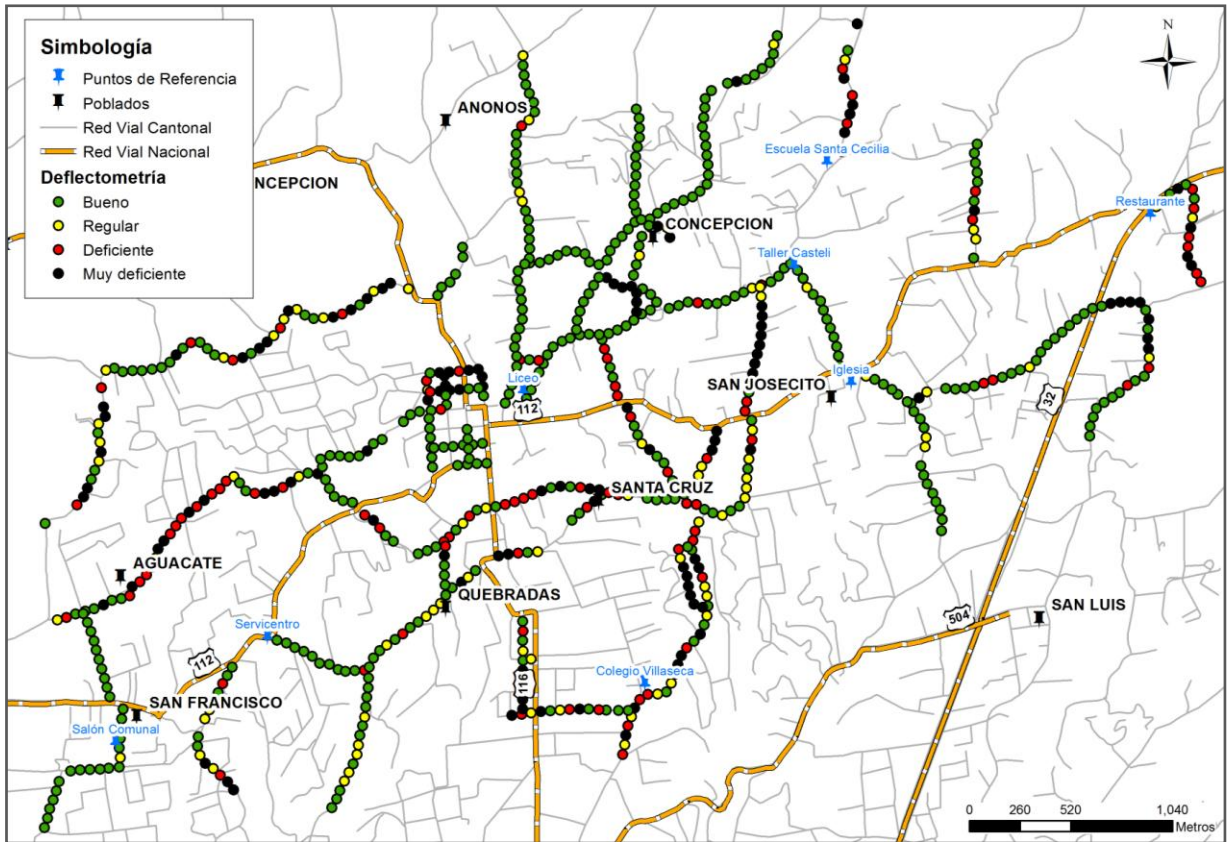


Figura 15. Condición del FWD para las mediciones realizadas en San Isidro de Heredia

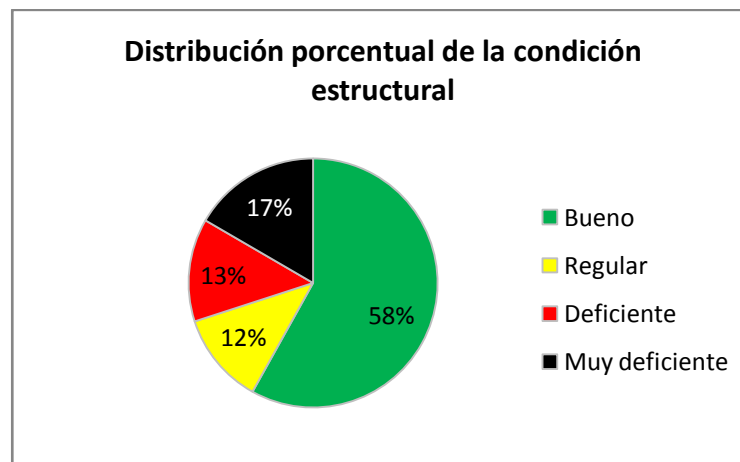


Figura 16. Distribución porcentual de la condición según FWD

3.2.4 Caracterización de la estructura de pavimento

En esta sección se especifica la estructura y el tipo de materiales que componen el pavimento de diferentes rutas. En la Figura 17, se muestra un ejemplo de dicha estructura, compuesta por la capa de rodadura, base granular y capa de sub-base.

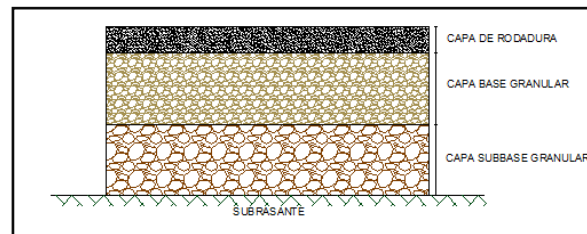


Figura 17. Ejemplo de estructura de pavimento

La caracterización consiste en diversos ensayos de laboratorio y ensayos en campo; se divide en tres grupos:

1. Estructura del pavimento.
2. Caracterización de la subrasante por tipo de suelo.
3. Clasificación de subrasante según CBR.

Adicionalmente, también se realizó la caracterización de las bases granulares de las estructuras de pavimento, ya que son estructuras antiguas y se desea corroborar la condición que presentan. En la Figura 18 se muestran los sitios exactos en donde se realizaron sondeos de la subrasante y aquellos sondeos en donde además se analizaron las bases granulares.

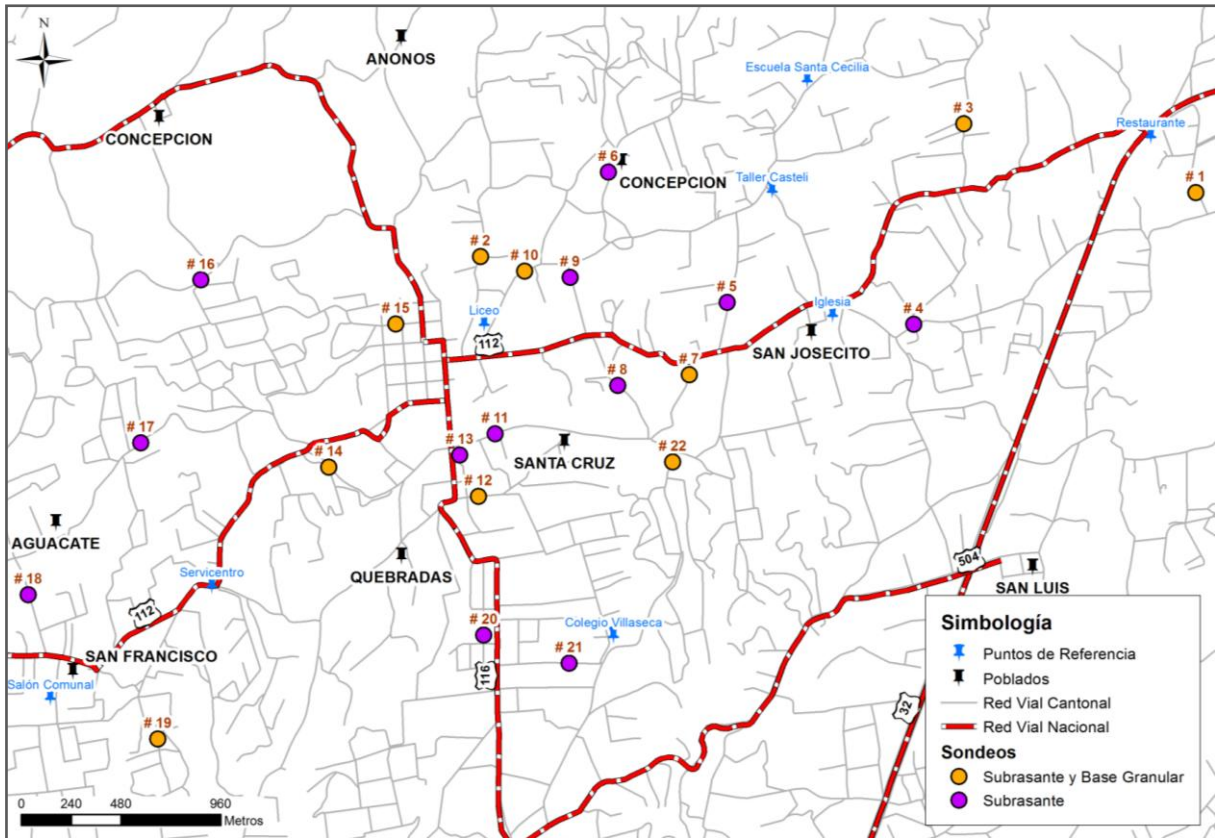


Figura 18. Ubicación de los sondes realizados en San Isidro

Estructura del pavimento

Se ejecutaron 22 excavaciones para determinar los espesores de las capas que componen el pavimento: superficie de rodadura, base granular, sub-base y subrasante. Las excavaciones se realizaron en puntos estratégicos tomando en consideración la clasificación de las vías del cantón, la deflectometría y secciones de condiciones similares.

En el Cuadro 2, se muestran los espesores obtenidos para cada una de las capas que compone la estructura del pavimento en los puntos de análisis seleccionados.

Cuadro 2. Espesores de las capas del pavimento según los sondes realizados

Sondeo	CA (cm)	BG (cm)	SB (cm)	Relleno (cm)	Total (cm)
1	5	16	-	-	21
2	14	30	-	-	44
3	8	12	-	15	35



Sondeo	CA (cm)	BG (cm)	SB (cm)	Relleno (cm)	Total (cm)
4	9	25	-	-	34
5	7	15	-	-	22
6	13	20	-	-	33
7	10	10	-	-	20
8	12	12	-	-	24
9	4	20	-	10	34
10	11	20	-	20	51
11	11	25	-	-	36
12	7	40	-	-	47
13	6	25	-	-	31
14	9	15	-	-	24
15	5	15	-	-	20
16	5	16	-	-	21
17	12	7	-	-	19
18	15	28	-	-	43
19	12	27	-	-	39
20	12	27	-	-	39
21	14	30	-	-	44
22	15	10	20	-	45

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

CA: Carpeta asfáltica
BG: Base granular.
SB: Sub-base.

Caracterización de la subrasante

A continuación en la Figura 19 se muestra la ubicación de los sondeos realizados para caracterizar de forma detallada la subrasante que compone la estructura del pavimento. Lo cual brinda información que a futuro puede ser de utilidad en la selección de intervenciones a nivel de proyecto. Para caracterizar los materiales, se realizaron diferentes ensayos de laboratorio, que incluyen las pruebas de:

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Gravedad Específica

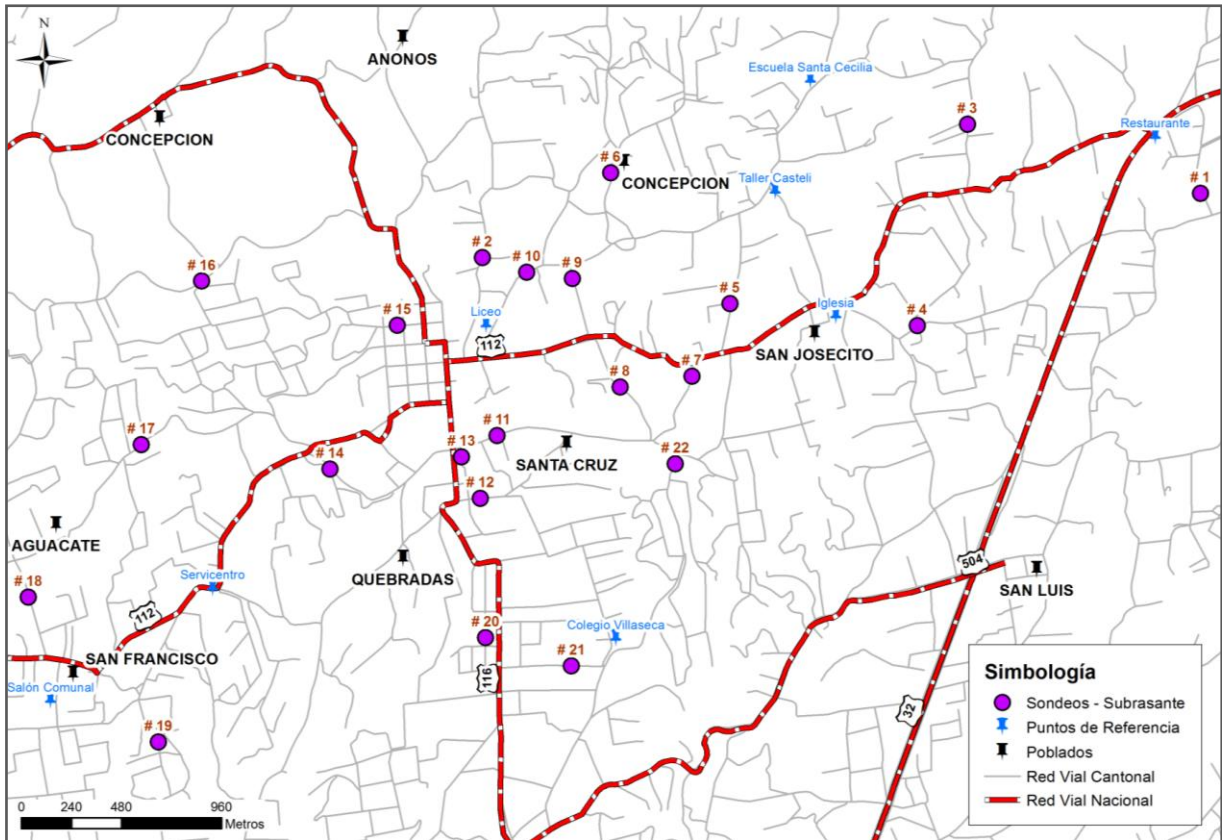


Figura 19. Ubicación de los sondeos realizados para caracterizar la subrasante en San Isidro de Heredia

Cabe mencionar que se hizo un análisis visual de las características generales de los suelos en los diferentes sondeos realizados, y se agruparon aquellos que poseían características similares en "familias de suelos", con el objetivo de reducir la cantidad de ensayos de laboratorio a realizar. En el Cuadro 3 se muestran los sondeos a los cuales no se ejecutaron ensayos, con los respectivos sondeos asociados por poseer características similares.

Cuadro 3. Sondeos agrupados por poseer características generales similares

Sondeo sin ensayos	Sondeo Asociado
3	9
4	1
5	7
8	7
17	2



Clasificación SUCS

A partir de los datos generados en el laboratorio, referentes a la granulometría y a los límites de Atterberg, se clasificó la subrasante según el sistema de clasificación del SUCS. A continuación, se presenta la simbología utilizada y la descripción general de cada uno de los grupos de suelos, según el Instituto Colombiano de Geología y Minería (2004):

- CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad media a baja, arcillas con gravas, arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.
- CH: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.
- SC: Arenas arcillosas, mezcla de arena mal graduada y arcillas.
- SM: Arenas limosas, mezclas de arena mal graduada y limo.
- ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
- MH: Limo inorgánico, limo micáceos o diatomáceos, limos elásticos.
- SC-SM: posee características de suelos SC y SM, es decir, es una mezcla de arena con arcilla y limos.

A continuación en la Figura 20 se muestra gráficamente los resultados obtenidos según la clasificación de suelos mediante la metodología SUCS; es posible observar que un 73% de los sondeos a cielo abierto realizados (16 sondeos), corresponde a suelos de tipo MH o limos de alta plasticidad, los cuales se caracterizan por tener una baja capacidad de drenaje y un pobre comportamiento mecánico.

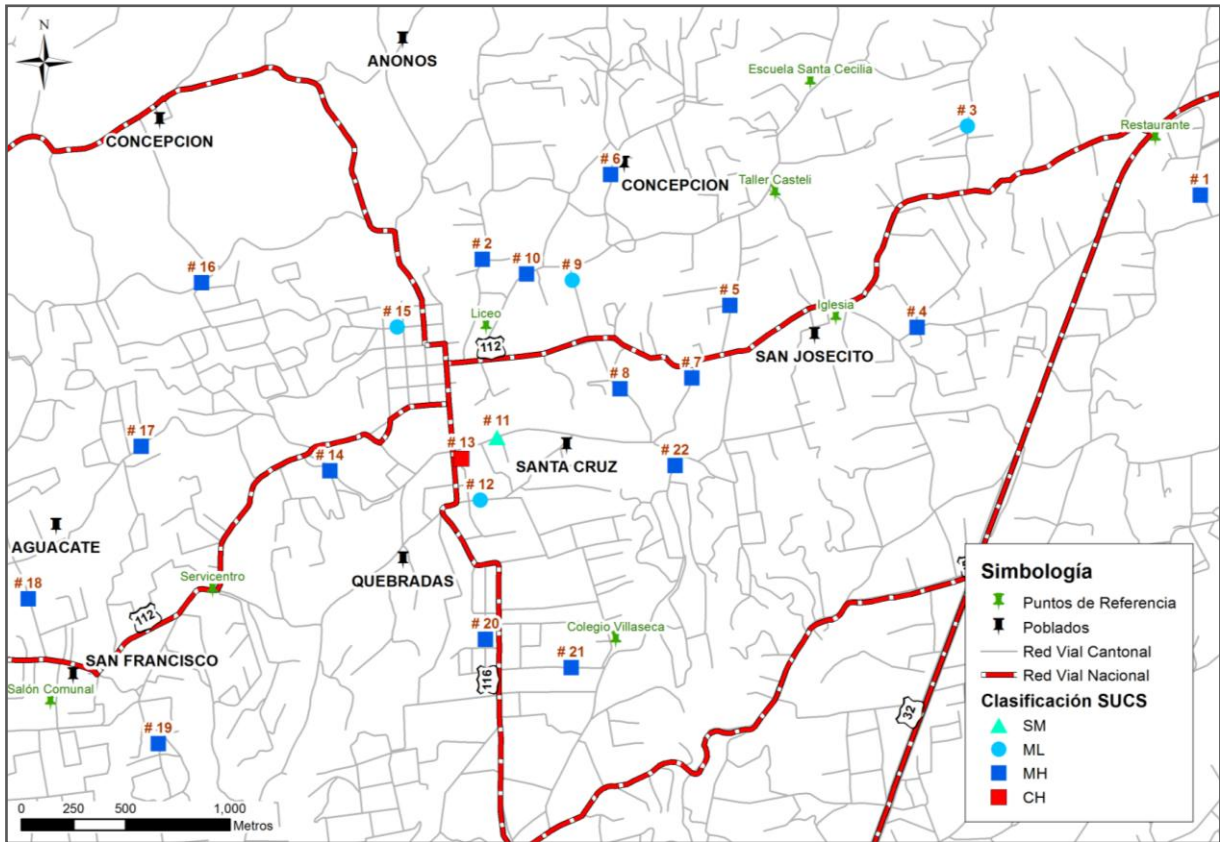


Figura 20. Caracterización de los suelos según clasificación SUCS en San Isidro de Heredia

Clasificación AASHTO

Las muestras de suelo extraídas en el cantón de San Isidro también fueron analizadas con base en la metodología AASHTO, la cual analiza el suelo como material para carreteras. A continuación se expone una descripción general del tipo de suelo que ésta plantea, la cual es tomada de las normas técnicas utilizadas para realizar ensayos de laboratorio en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia:

- Materiales granulares: Contienen 35% o menos de material que pase el tamiz de 75 μm (#200).
 - Grupo A-1: El material típico de este grupo es una mezcla bien graduada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina, y un ligante de suelo no



plástico o de baja plasticidad. Sin embargo, este grupo incluye también fragmentos de roca, grava, arena gruesa, cenizas volcánicas, etc., sin un ligante de suelo.

- Subgrupo A-1-a: Incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de fragmentos de roca o grava con o sin un ligante bien graduado de material fino.
- Subgrupo A-1-b: Incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de arena gruesa con o sin un ligante de suelo bien graduado.

- Grupo A-3: El material típico de este grupo es la arena fina de playa o la arena fina de desierto, sin finos de arcilla, limo o con una pequeña cantidad de limo no plástico. Este grupo también incluye las mezclas aluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa y grava.

- Grupo A-2: Este grupo incluye una amplia variedad de materiales granulares, que se encuentran en el límite entre los materiales que se clasifican en los grupos A-1 y A-3, y los materiales tipo limo y arcilla que se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Incluye todos los materiales que contienen 35% o menos de material que pasa el tamiz de 75 μm (#200) que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 o A-3, debido al contenido de finos o a los índices de plasticidad, o ambos, por encima de las limitaciones de estos grupos.
 - Los subgrupos A-2-4 y A-2-5 incluyen varios materiales granulares que contienen 35% o menos de material que pasa el tamiz de 75 μm (#200) y con una porción que pasa el tamiz de 425 μm (#40) que tiene las características de los grupos A-4 y A-5, respectivamente. Estos grupos comprenden materiales tales como grava y arena gruesa con contenidos de limo e IP por encima de las limitaciones del grupo A-1, y arena fina con un contenido de limo no plástico por encima de las limitaciones del grupo A-3.
 - Los subgrupos A-2-6 y A-2-7 incluyen materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5 excepto en que la porción fina contiene arcilla plástica que tiene las características de los grupos A-6 y A-7, respectivamente.



- Material limo-arcilloso: contiene más de 35% de material que pasa la malla de 75 μm (#200).
 - Grupo A-4: El material típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene el 75% o más de material que pasa el tamiz de 75 μm (#200). Este grupo también incluye mezclas de suelo limoso fino y hasta 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz de 75 μm (#200).
 - Grupo A-5: El material típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que usualmente tiene un carácter diatomáceo o micáceo y puede ser muy elástico, como lo indica su alto LL.
 - Grupo A-6: El material típico de este grupo es una arcilla plástica que usualmente tiene el 75% o más del material que pasa el tamiz de 75 μm (#200). Este grupo también incluye mezclas de suelo arcilloso y hasta el 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz #200. Los materiales de este grupo normalmente presentan grandes cambios de volúmenes entre los estados seco y húmedo.
 - Grupo A-7: El material típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene el LL elevado, característico del grupo A-5, y puede presentar elasticidad o alto potencial de expansión.
 - Subgrupo A-7-5: Incluye materiales con IP moderados en relación con el LL y que pueden presentar un alto potencial de expansión.
 - Subgrupo A-7-6: Incluyen materiales con un alto IP en relación con el LL y presentan un alto potencial de expansión.
- Suelos orgánicos: como su nombre lo indica, son suelos orgánicos, incluida la turba, pueden clasificarse en el grupo A-8. La clasificación de estos materiales se basa en la inspección visual y no depende del porcentaje que pasa por el tamiz de 75 μm (#200), el LI y el IP. El material se compone en su mayoría de materia orgánica parcialmente descompuesta; y por lo general tiene una textura fibrosa, un color negro o pardo oscuro y olor a descomposición. Estos materiales orgánicos son inadecuados para su utilización en

terraplenes y subrasantes. Tales materiales son altamente compresibles y tienen una baja resistencia al corte.

La distribución de tipo de suelo según la clasificación de la AASHTO, se puede observar en la Figura 21. Es de apreciar que 20 sondeos presentan suelos con una clasificación A-7-5, que corresponden a materiales finos limo-arcillosos con un límite líquido alto y gran potencial de expansión, y por ende de acuerdo a su calidad se encuentran ubicados en una categoría de aceptable a mala para la infraestructura vial.

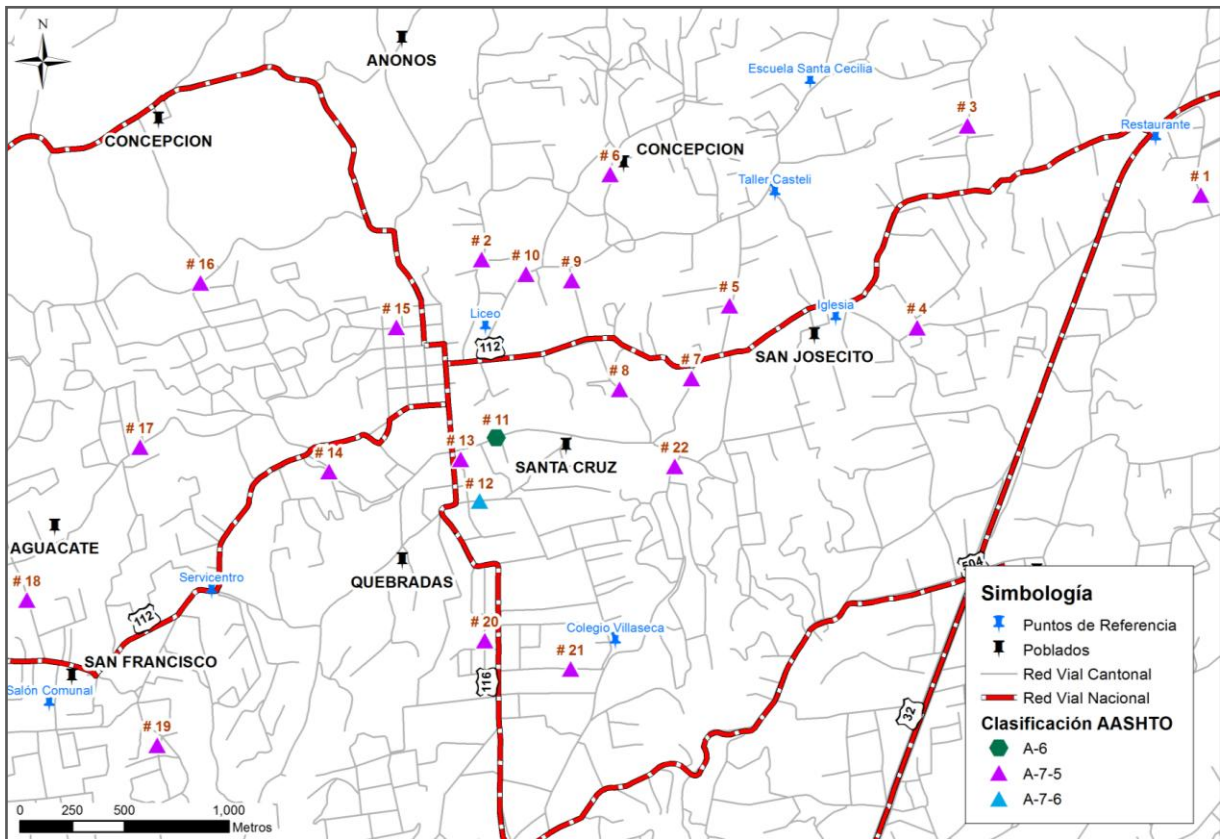


Figura 21. Caracterización de los suelos según clasificación AASHTO en San Isidro de Heredia

A continuación en el Cuadro 4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en laboratorio de las 22 muestras de suelos extraídas en la localidad de San Isidro, en donde incluye los resultados de las pruebas granulométricas y los Límites de Atterberg, con base en los cuales se determina la respectiva clasificación SUCS y AASHTO.

Informe LM-PI-GM-INF-08-17	Fecha de emisión: Noviembre, 2017	Página 34 de 63
----------------------------	-----------------------------------	-----------------



Cuadro 4. Clasificación del tipo de suelo de la subrasante en los sondeos realizados

Sondeo	Porcentaje Pasando				FG	FS	CF	LL	LP	SUCS	AASHTO	AASHTO
	N°4	N°10	N°40	N°200								
1	97,8	96,3	88,3	58,9	2,2	38,9	58,9	65	53	MH	A-7-5	A-7-5(9)
2	88,4	86,2	79,5	62	11,6	26,4	62	51	32	MH	A-7-5	A-7-5(11)
3	94,2	92,7	85,5	58,3	5,8	35,9	58,3	47	31	ML	A-7-5	A-7-5(8)
4	97,8	96,3	88,3	58,9	2,2	38,9	58,9	65	53	MH	A-7-5	A-7-5(9)
5	86,4	85,1	79,7	60,7	13,6	25,7	60,7	54	34	MH	A-7-5	A-7-5(12)
6	99,7	99	91,6	65,7	0,3	34	65,7	65	40	MH	A-7-5	A-7-5(18)
7	86,4	85,1	79,7	60,7	13,6	25,7	60,7	54	34	MH	A-7-5	A-7-5(12)
8	86,4	85,1	79,7	60,7	13,6	25,7	60,7	54	34	MH	A-7-5	A-7-5(12)
9	94,2	92,7	85,5	58,3	5,8	35,9	58,3	47	31	ML	A-7-5	A-7-5(8)
10	84,3	82,3	75,8	59,8	15,7	24,5	59,8	52	33	MH	A-7-5	A-7-5(10)
11	79,1	75,3	64,7	45,2	20,9	33,9	45,2	40	28	SM	A-6	A-6(3)
12	87,2	82,6	72,6	55,7	12,8	31,5	55,7	45	29	ML	A-7-6	A-7-6(7)
13	98,4	97,1	90,3	81,1	1,6	17,3	81,1	81	37	CH	A-7-5	A-7-5(41)
14	99,9	99,4	96,5	79,2	0,1	20,7	79,2	63	36	MH	A-7-5	A-7-5(25)
15	98,8	98,3	93,3	68,3	1,2	30,5	68,3	45	29	ML	A-7-5	A-7-5(11)
16	99,8	99,2	95,3	79,7	0,2	20,1	79,7	61	35	MH	A-7-5	A-7-5(24)
17	88,4	86,2	79,5	62	11,6	26,4	62	51	32	MH	A-7-5	A-7-5(11)
18	100	99,8	98,3	77,2	0	22,8	77,2	71	37	MH	A-7-5	A-7-5(30)
19	99,4	97,5	90,8	65,1	0,6	34,3	65,1	52	34	MH	A-7-5	A-7-5(12)
20	98,3	89,2	80	62,6	1,7	35,7	62,6	62	32	MH	A-7-5	A-7-5(18)
21	99,7	98,9	94,7	59,6	0,3	40,1	59,6	57	44	MH	A-7-5	A-7-5(8)
22	89,3	87,4	79,3	61,4	10,7	27,9	61,4	51	32	MH	A-7-5	A-7-5(11)

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

N°4: Tamiz N° 4, 750 mm de diámetro
 N°10: Tamiz N°10, 2,000 mm de diámetro
 N°40: Tamiz N°40, 0,425 mm de diámetro
 N°200: Tamiz N°200, 0,075 mm de diámetro

FG: Fracción gruesa
 FS: Fracción arena
 CF: Cantidad de finos
 LL: Límite Líquido
 LP: Límite Plástico

Es posible identificar que tanto para la clasificación SUCS como para la clasificación AASHTO los suelos que componen la subrasante son en su mayoría materiales que se caracterizan por tener un comportamiento mecánico deficiente.

Clasificación de subrasante según CBR

En esta sección se analiza la red vial cantonal considerando el valor de CBR obtenido en sitio. El mismo proporciona un índice de la resistencia de la capa de la subrasante para resistir carga, en la Figura 22 se muestra la prueba realizada en sitio.



Figura 22. Prueba de CBR en sitio

Fuente: LanammeUCR, 2008

El CBR obtenido es una medida indirecta que se genera a partir del anillo de carga, el cual registra la resistencia a la penetración, también llamado, Índice del cono (CI) en unidades de libras por pulgada cuadrada (psi). Posteriormente, este valor de CBR se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$CBR = a * (CI)^b$$

Donde:

- a y b son coeficientes asociados al tipo de suelo según la clasificación del suelo SUCS
- CI es el índice del cono

La clasificación utilizada para categorizar los valores de CBR es establecida por J, Bowles (1981), y se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificación del CBR

CBR	Clasificación General	Usos
0%-3%	Muy Pobre	Subrasante
3%-7%	Pobre a Regular	Subrasante
7% - 20%	Regular	Sub-base
20%-50%	Bueno	Base-Sub-base
Mayor a 50%	Excelente	Base

Fuente: Bowles, J, 1981

En la Figura 23 se muestra gráficamente los valores de CBR obtenidos para cada sondeo; es importante mencionar que en el sondeo 12 no se pudo obtener el valor de índice de cono debido a la presencia de un exceso de agua en la zona de muestreo, y por ende no fue posible calcular el valor de CBR. De acuerdo con los resultados, el 68 % de los sondeos (15

Informe LM-PI-GM-INF-08-17	Fecha de emisión: Noviembre, 2017	Página 36 de 63
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

sondeos) se clasifican como suelos con CBR pobre a regular y un 27 % (6 sondeos) como suelos con CBR muy pobre.

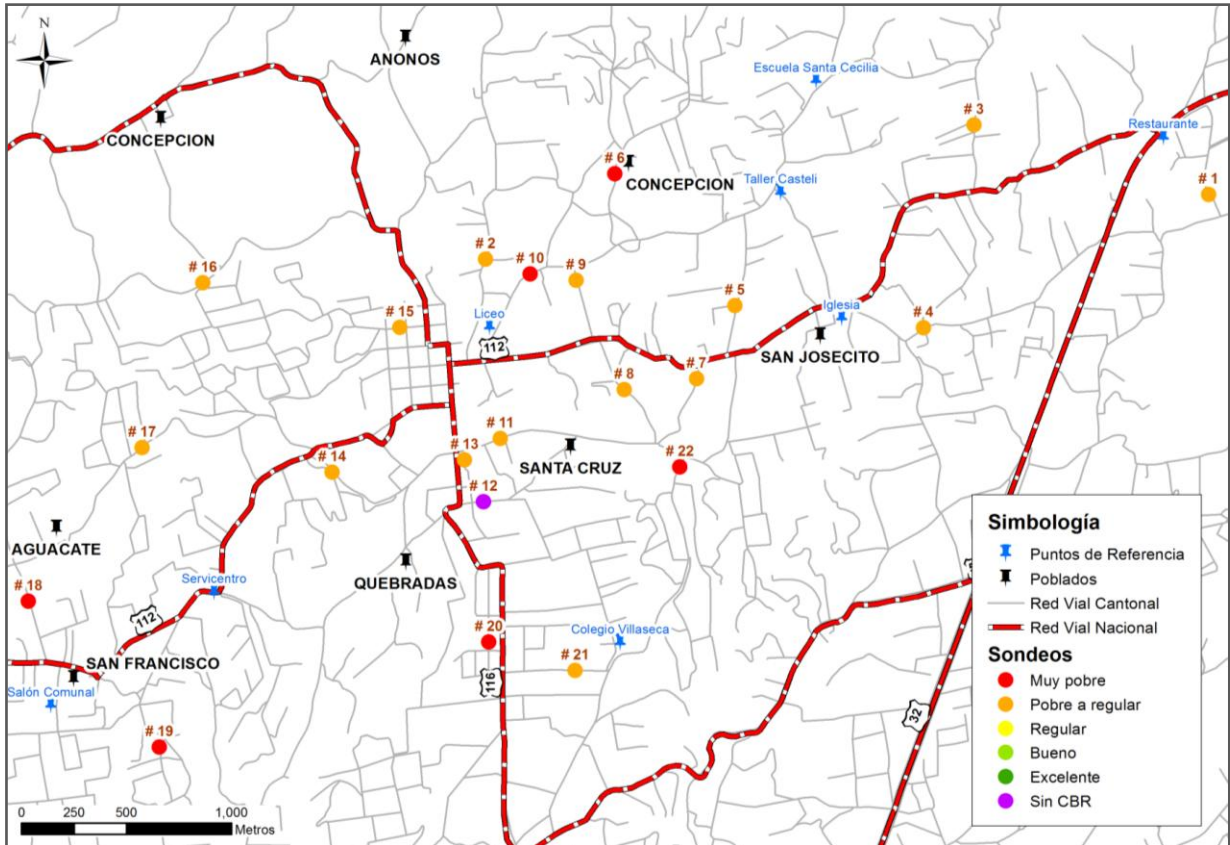


Figura 23. Clasificación del CBR según Bowles, en la localidad de San Isidro de Heredia

En el Cuadro 6 se puede observar en detalle los resultados del CBR en sitio obtenidos en cada sondeo, así como los valores de índice de cono y los diferentes parámetros utilizados para estimar el valor de CBR.

Cuadro 6. Índice de soporte CBR

Sondeo	Índice de Cono	Coefficiente a	Coefficiente b	CBR
1	224,0	0,0820	0,7174	4,0
2	173,8	0,0820	0,7174	3,3
3	128,0	0,1281	0,6984	3,8
4	221,8	0,0820	0,7174	4,0
5	163,2	0,0820	0,7174	3,2



Sondeo	Índice de Cono	Coefficiente a	Coefficiente b	CBR
6	135,7	0,0820	0,7174	2,8
7	178,3	0,0820	0,7174	3,4
8	200,3	0,0820	0,7174	3,7
9	158,9	0,1281	0,6984	4,4
10	111,7	0,0820	0,7174	2,4
11	141,7	0,2985	0,5358	4,2
12	-	-	-	*
13	120,0	0,1264	0,6979	3,6
14	164,6	0,1460	0,6432	3,9
15	240,0	0,1281	0,6984	5,9
16	165,0	0,0820	0,7174	3,2
17	228,3	0,0820	0,7174	4,0
18	128,3	0,0820	0,7174	2,7
19	106,2	0,1460	0,6432	2,9
20	144,6	0,1460	0,6432	3,6
21	201,7	0,1460	0,6432	4,4
22	131,7	0,1460	0,6432	3,4

* No se pudo realizar el ensayo de CBR en sitio por presencia de un exceso de agua en la zona de muestreo

Caracterización de las bases granulares

En total se realizó la caracterización granulométrica de 10 muestras de bases granulares seleccionadas a partir de criterios visuales técnicos con base en propiedades y características físicas similares; en el Cuadro 7 se presentan los resultados obtenidos, en donde es posible evidenciar que todas las bases granulares se clasifican como arena con un alto contenido de finos.

Cuadro 7. Resultados de la granulometría y tipo de partículas de las bases granulares

Sondeo	Porcentaje Pasando				FG	FS	CF	Tipo de partículas
	N°4	N°10	N°40	N°200				
1	52	39	22	11	48	41	11	Arena
2	68	59	34	18	32	50	18	Arena
3	53	36	17	8	47	45	8	Arena
7	60,8	42,7	24,4	13,4	39.2	47.4	13.4	Arena
10	60	51	31	15	40	45	15	Arena
12	55	46	17	18	45	38	18	Arena
14	51	43	27	16	49	35	16	Arena
15	64,3	47,7	27,1	14,1	35.7	50.2	14.1	Arena
19	63	53	35	17	37	46	17	Arena
22	63	55	33	21	37	42	21	Arena

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

N°4: Tamiz N° 4, 750 mm de diámetro
 N°10: Tamiz N°10, 2,000 mm de diámetro
 N°40: Tamiz N°40, 0,425 mm de diámetro
 N°200: Tamiz N°200, 0,075 mm de diámetro

FG: Fracción gruesa
 FS: Fracción arena
 CF: Cantidad de finos

Adicionalmente a 5 de las muestras de bases granulares se les realizó el ensayo de partículas friables y arcillosas en agregados; el ensayo no se realizó a todas las muestras ya que unas bases granulares estaban muy degradadas y pasaban de un análisis de agregados a uno de suelos de gano fino. En la Figura 24 se muestra los sondeos a los que se les realizó el ensayo con su respectivo resultado. Es recomendable que el contenido de arcilla y partículas friables en los agregados sea menor o igual a 2 % de acuerdo con el CR-2010.

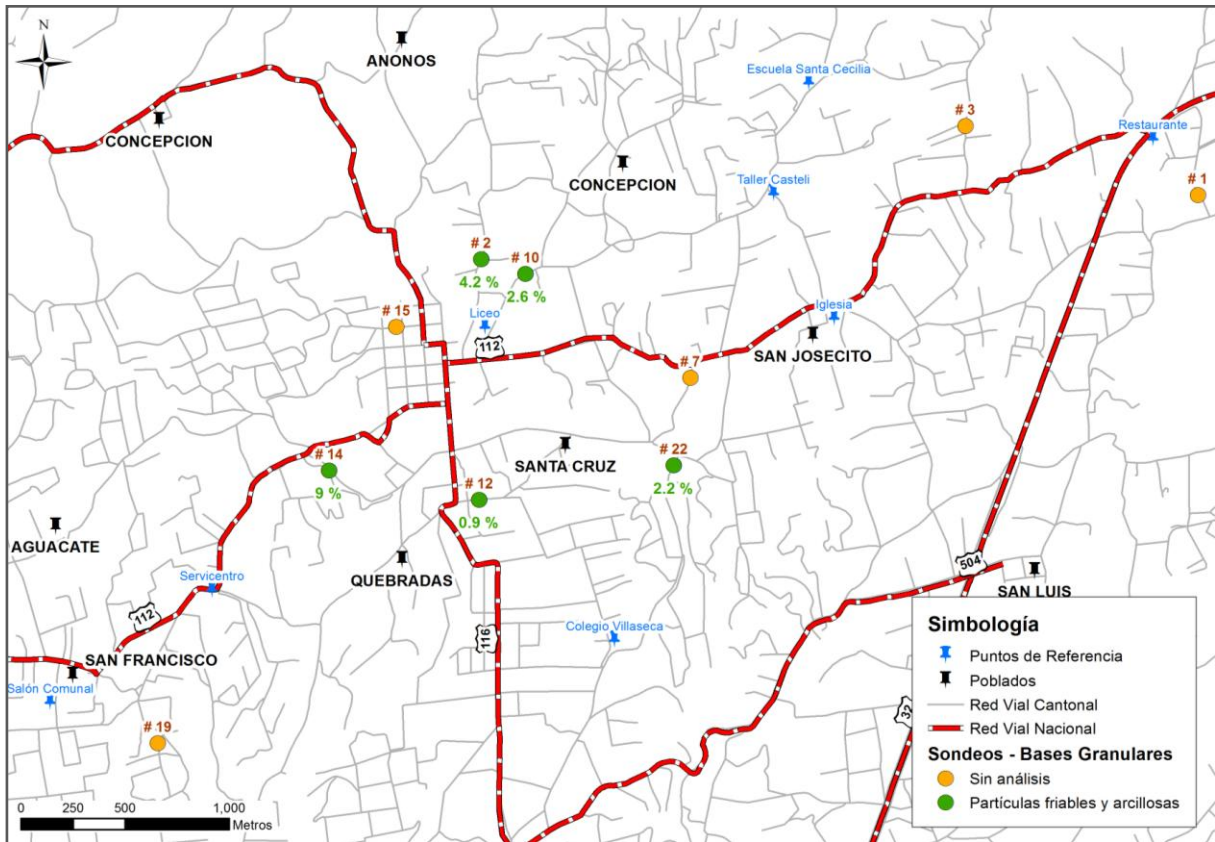


Figura 24. Porcentaje de partículas friables y arcillosas en las bases granulares analizadas en San Isidro de Heredia



3.2.5 Análisis por rutas

Las evaluaciones funcionales y estructurales que se realizan son analizadas de manera integral con el propósito de determinar la condición general de la estructura de pavimento. Por ejemplo, una metodología comúnmente utilizada consiste en la generación de tramos homogéneos que son estimados a través de métodos estadísticos definidos en la Guía de Diseño de Pavimentos de la AASHTO de 1993; sin embargo, en el caso de estudio que se atiende en este informe, este procedimiento podría alterar la organización que poseen los caminos municipales, por lo que primero se debe tomar en cuenta los códigos de camino de cada ruta.

El análisis de las rutas en San Isidro de Heredia se llevó a cabo mediante la agrupación de los tramos de acuerdo con el código de camino municipal que poseen, considerando como base una capa de caminos tipo "shape" suministrada por la Municipalidad de San Isidro, en donde los tramos con mismo código de camino municipal pero con condiciones estructurales y funcionales distintas se subdividieron, procurando obtener tramos de la mayor longitud posible. A partir de aproximadamente 35,4 km evaluados en la red vial de San Isidro, se obtuvo un total de 57 tramos que se presentan de forma gráfica en la Figura 25.

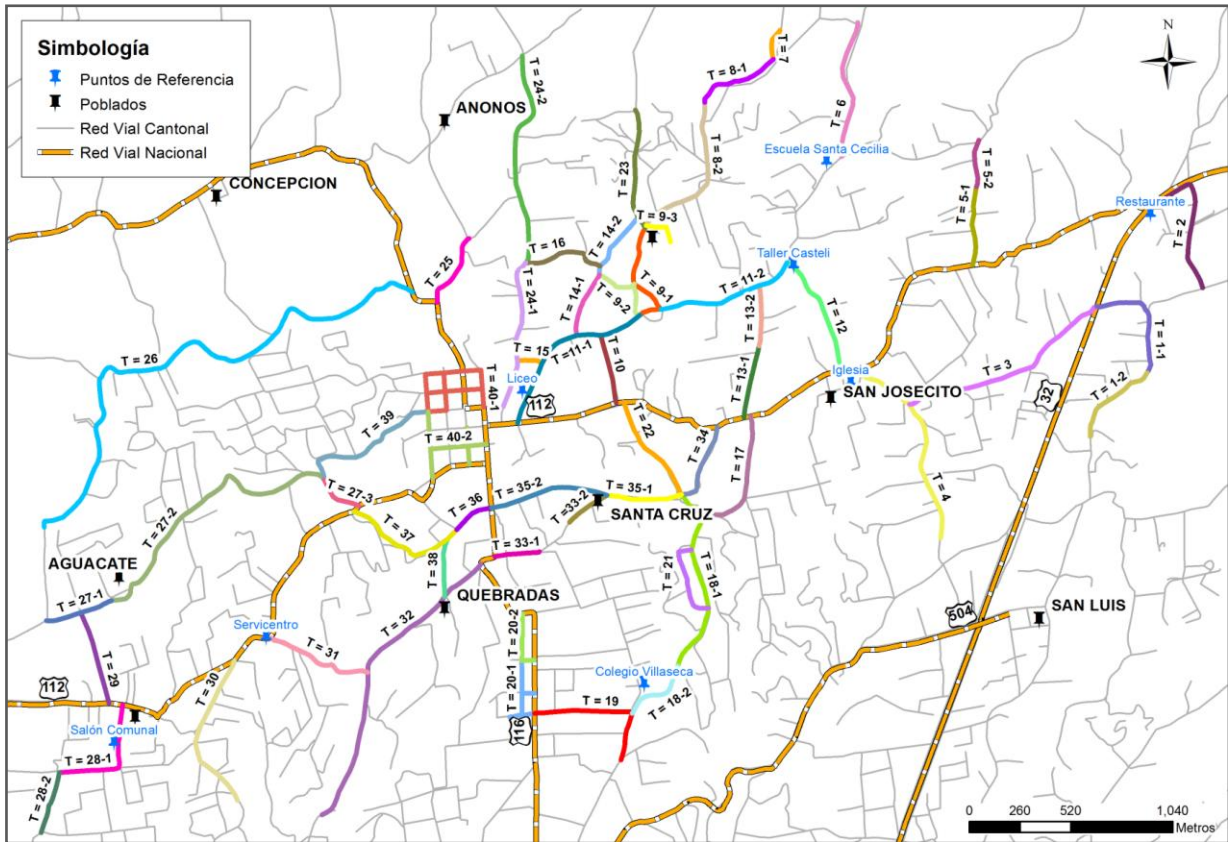


Figura 25. Ubicación de diferentes secciones de análisis

Los valores promedio asociados a cada sección ofrecen una idea de la condición general del mismo para el año 2016, pues a cada tramo se le asocia dispersión en los resultados de la evaluación del IRI y la deflectometría, producto de la variabilidad ocurrida con el paso del tiempo.

3.2.5.1 Deflexión Promedio

La categorización del estado estructural de cada tramo se realiza de acuerdo con la clasificación que se presenta en la sección 3.2.3, donde se consideran diferentes intervalos para clasificar la deflectometría según el TPD de las vías con base granular.

En la Figura 26 se muestra de manera gráfica el valor de la deflectometría promedio (FWD promedio) para cada uno de los tramos analizados, según las evaluaciones del año 2016.

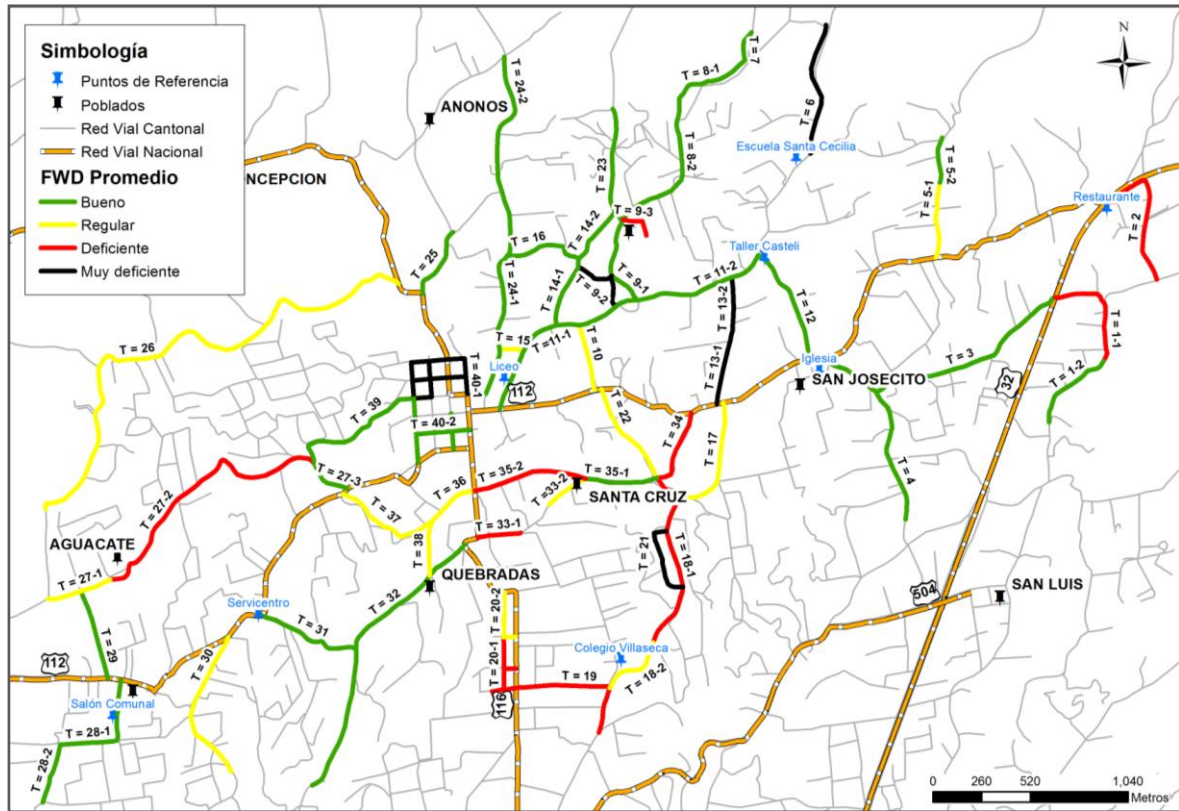


Figura 26. Deflectometría promedio de las vías analizadas

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 asociados, los cuales se sintetizan en la Figura 27 y Figura 28.

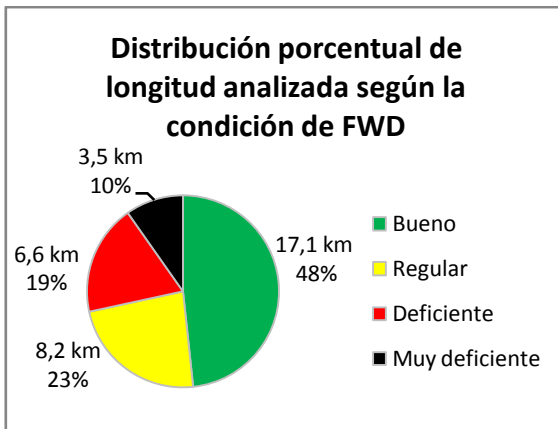


Figura 27. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio

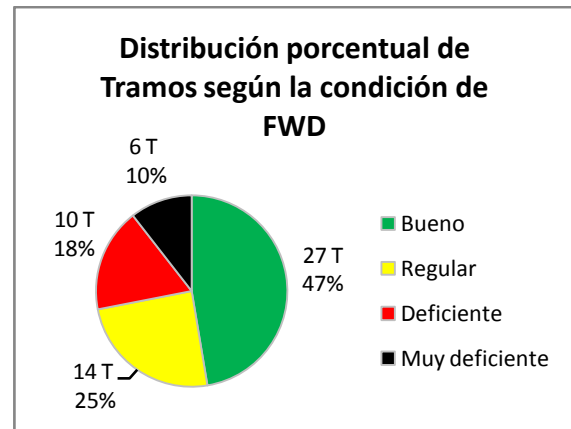


Figura 28. Porcentaje de tramos clasificados según el FWD promedio

En la Figura 27 y Figura 28 es posible observar que un 48 % de la longitud evaluada (aproximadamente 17,1 km distribuidos en 27 tramos) presenta una adecuada condición estructural; mientras que un 29% de la longitud de los tramos evaluados (10,1 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 8,2 km distribuidos en 14 secciones de caminos, se encuentran en la categoría "Regular".

3.2.5.2 *IRI promedio*

Se realizó una caracterización del IRI en una longitud de 35,4 km mediante los valores promedios 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 del Cuadro 1.

El análisis por IRI promedio indica que las rutas en este estudio presentan un deterioro considerable de la condición superficial. En la Figura 29 es posible visualizar la condición del IRI promedio para los diferentes tramos analizados.

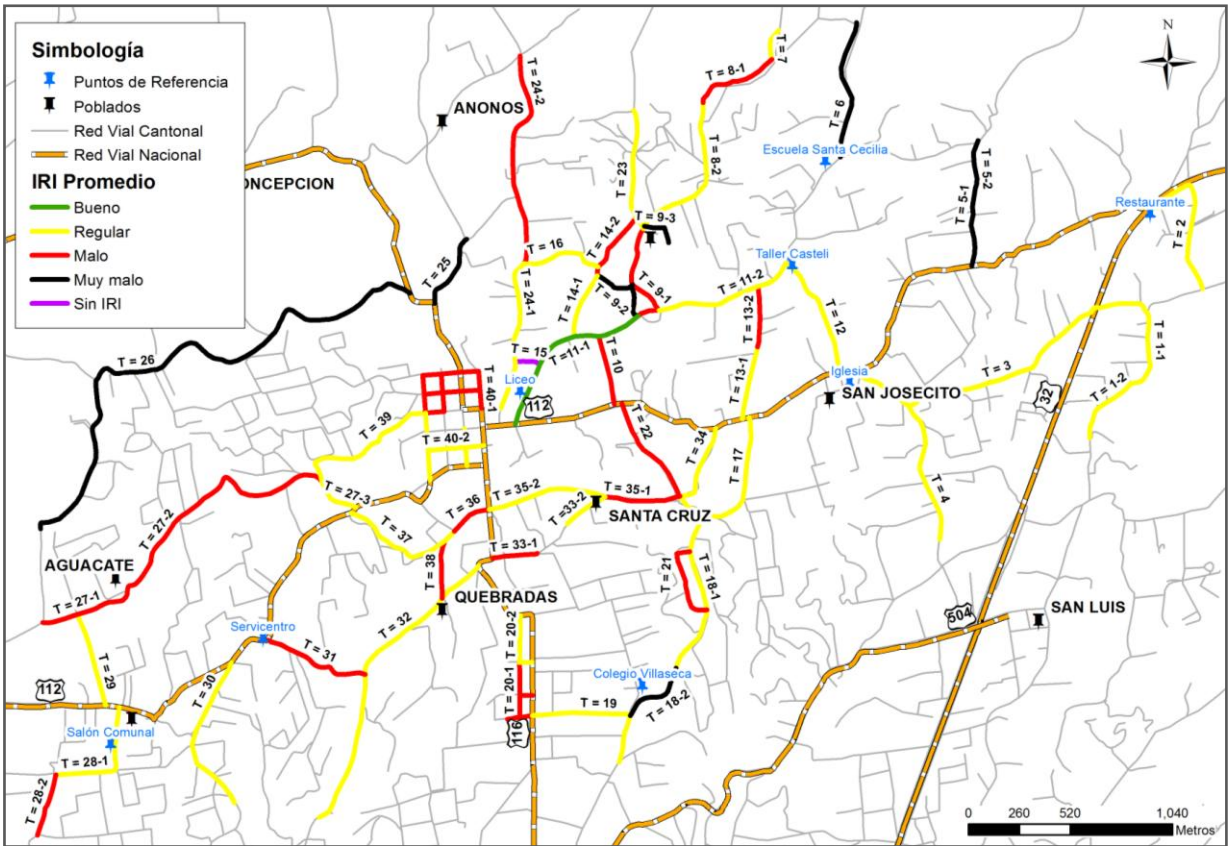


Figura 29. IRI promedio para las vías analizadas

La distribución de la cantidad de tramos y metros lineales asociados a cada categoría de IRI de acuerdo con las mediciones del año 2016, se muestra porcentualmente en la Figura 30 y Figura 31.

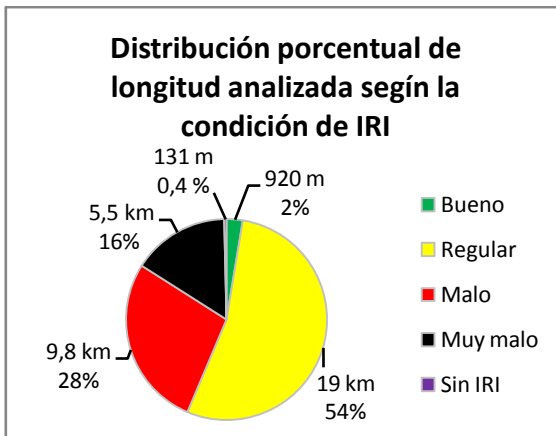


Figura 30. Porcentaje de metros lineales clasificados según el IRI promedio

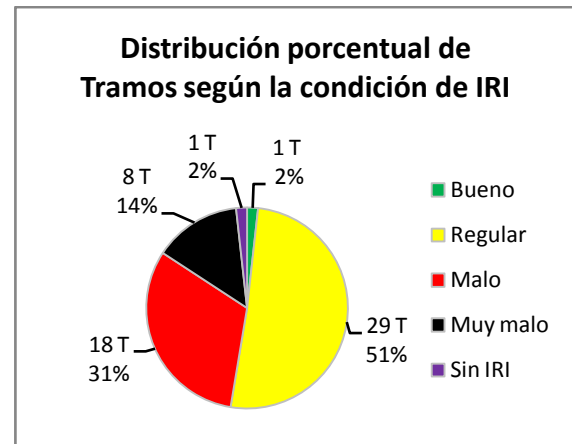


Figura 31. Porcentaje de tramos clasificados según el IRI promedio

Según la información que se muestra en la Figura 30 y Figura 31, solo se registró un tramo con buena condición funcional (920 m), cerca de 15,3 km (44 %) se encuentran en una condición "mala" y "muy mala" distribuidos en 26 secciones de camino, mientras que 19 km se encuentran en una condición regular. En 131 m no se realizaron estimaciones del IRI pero sí mediciones de FWD.

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 como consecuencia del golpeteo de los vehículos al transitar por una ruta irregular.

3.2.6 Notas Calidad

El estado de cada uno de los tramos es analizado funcional y estructuralmente, y a través de la integración de estos dos parámetros se puede determinar la condición en el que se encuentra un tramo en el momento de su evaluación; el indicador que se utiliza se denomina **Nota de Calidad (Nota Q)**, y define 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 se encuentra en 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 empleada en el análisis de la red vial nacional en los años 2010-2011, la cual se presenta en el informe LM-PI-UE-05-11, emitido por el LanammeUCR.

Para simplificar el procedimiento se utiliza una matriz general (ver Cuadro 8), en donde se establecen notas de calidad en función de los resultados de la condición de IRI y deflectometría medidos al momento de la evaluación.

Cuadro 8. Notas de calidad de acuerdo con los resultados de la condición de IRI y FWD

Deflexión 10 ⁻² mm IRI m/km	Bueno	Regular	Deficiente	Muy Deficiente
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

Se mencionan a continuación la definición de las diferentes 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 en 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.

3.2.6.1 Notas de calidad de la red vial analizada

Las notas de calidad se asignaron según el procedimiento descrito en la sección 3.2.6 utilizando el Cuadro 8, 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 el Cuadro 9 se puede observar el detalle de los valores promedio de IRI y deflectometría para cada tramo en los 35,4 km analizados, correspondientes a las condiciones de la infraestructura para el año 2016, además se indica la nota de calidad asociada a los valores obtenidos.

Cuadro 9. Nota de calidad asignada a cada tramo analizado en la localidad de San Isidro

ID	Tramo	Código de Camino	Longitud (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Notas Q
1	1-1	406020	604,75	138,46	4,31	Q8
2	1-2	406020	471,08	78,37	4,21	Q2
3	2	406016	803,35	130,34	5,13	Q8
4	3	406019	1133,09	68,03	5,38	Q2
5	4	406018	1079,36	61,50	5,53	Q2
6	5-1	406049	407,89	114,67	11,41	RH-RF
7	5-2	406049	243,60	68,13	10,82	M-RF
8	6	406009	720,97	120,51	11,60	NP
9	7	406010	166,14	86,61	5,48	Q2
10	8-1	406032	443,75	54,80	8,05	Q4
11	8-2	406032	809,48	51,68	4,48	Q2



ID	Tramo	Código de Camino	Longitud (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Notas Q
12	9-1	406035	618,53	73,83	7,28	Q4
13	9-2	406035	373,23	144,35	10,28	NP
14	9-3	406035	180,32	112,18	12,55	R-3
15	10	406048	355,06	106,34	7,00	Q7
16	11-1	406007	919,63	51,40	3,30	Q1
17	11-2	406007	723,57	62,36	5,08	Q2
18	12	406011	637,48	58,66	5,21	Q2
19	13-1	406072	374,40	123,12	5,35	R-2
20	13-2	406072	310,95	166,82	6,50	R-3
21	14-1	406004	338,26	61,31	5,70	Q2
22	14-2	406004	367,97	70,99	6,72	Q4
23	15	406054	130,88	91,48		Sin Nota Q
24	16	406003	426,34	53,22	5,31	Q2
25	17	406046	660,16	83,84	4,63	Q5
26	18-1	406002	1026,67	102,59	4,88	Q8
27	18-2	406002	373,50	92,19	10,42	RH-RF
28	19	406045	750,54	93,62	4,35	Q8
29	20-1	406062	475,00	106,97	8,35	Q9
30	20-2	406062	302,42	82,15	5,84	Q5
31	21	406071	432,13	136,02	6,74	R-3
32	22	406013	569,04	89,36	7,58	Q7
33	23	406005	626,68	47,71	5,21	Q2
34	24-2	406001	1118,31	67,94	7,26	Q4
35	24-1	406001	781,44	53,29	4,19	Q2
36	25	406036	392,50	87,62	10,27	M-RF
37	26	406037	2842,09	112,13	10,81	RH-RF
38	27-1	406022	351,51	107,15	9,14	Q7
39	27-2	406022	1491,60	129,41	7,08	Q9
40	27-3	406022	237,25	65,97	6,35	Q2
41	28-1	406030	627,24	61,99	3,97	Q2
42	28-2	406030	325,74	59,58	7,72	Q4
43	29	406008	486,64	49,17	4,06	Q2
44	30	406029	846,29	113,49	6,07	Q5
45	31	406052	552,03	59,25	6,48	Q4
46	32	406025	1610,37	75,64	6,01	Q2
47	33-1	406024	230,84	105,47	8,34	Q9
48	33-2	406024	236,17	87,96	6,25	Q5
49	34	406074	427,46	114,00	6,23	Q8
50	35-1	406023	386,60	80,24	7,29	Q4
51	35-2	406023	611,68	106,60	4,38	Q8
52	36	406076	217,83	87,33	6,87	Q7
53	37	406026	656,35	81,88	5,57	Q5

ID	Tramo	Código de Camino	Longitud (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Notas Q
54	38	406075	296,15	86,26	9,56	Q7
55	39	406027	761,18	69,81	5,79	Q2
56	40-1	406033	1242,08	115,15	8,87	R-3
57	40-2	406033	820,41	45,92	5,97	Q2

En la Figura 32 se puede observar cada sección de análisis clasificada según la metodología de notas de calidad.

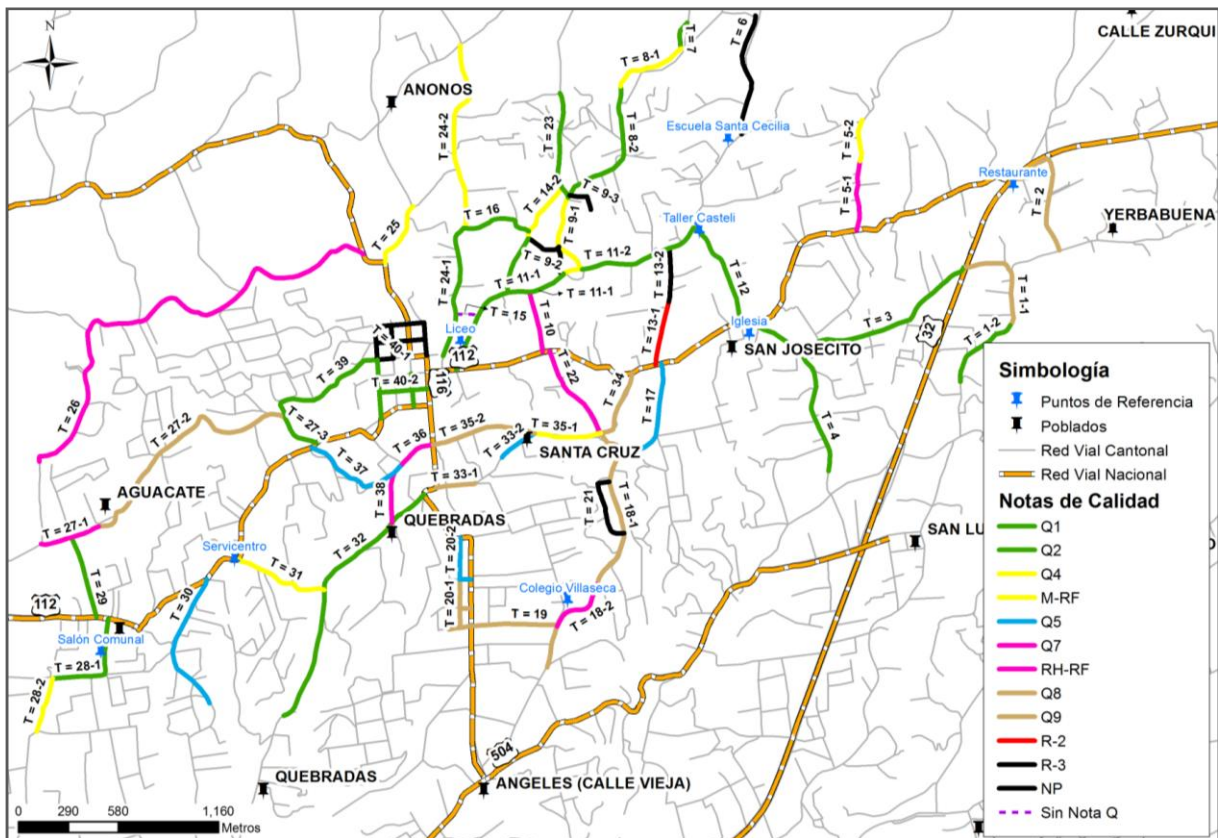


Figura 32. Notas de Calidad para los tramos analizados

En la Figura 33, se puede observar la distribución porcentual de las diferentes notas de calidad de las secciones, en las cuales la nota de calidad Q2 concentra la mayor cantidad de tramos (17 tramos equivalentes a 11,7 km), seguido por la nota Q4 (7 tramos correspondientes a 3,8 km), ambas asociadas a debilidades funcionales principalmente.

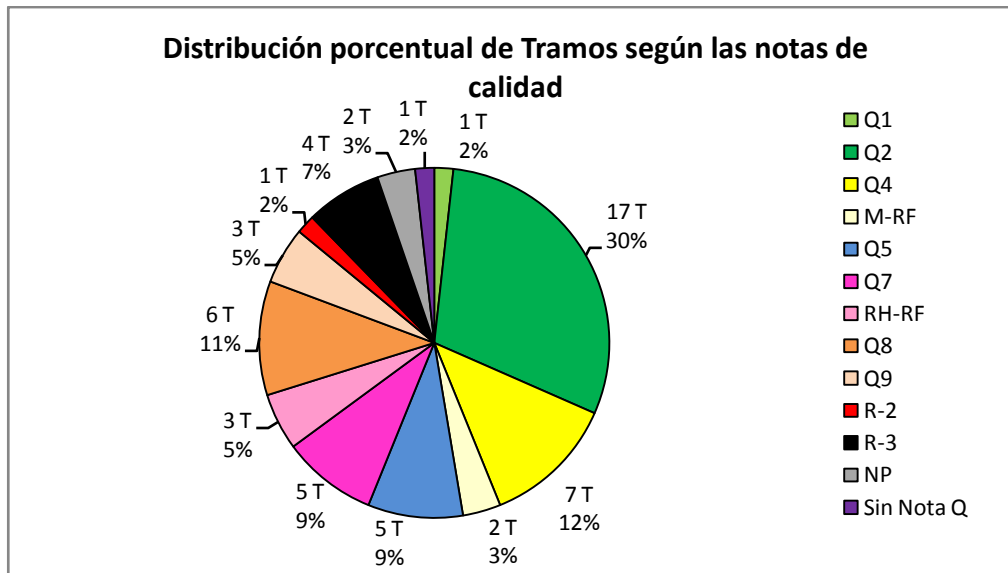


Figura 33. Distribución porcentual de las notas de calidad asignadas a cada sección analizada

3.3 Tipos de intervención

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.

En la Figura 34, 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 importante 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.

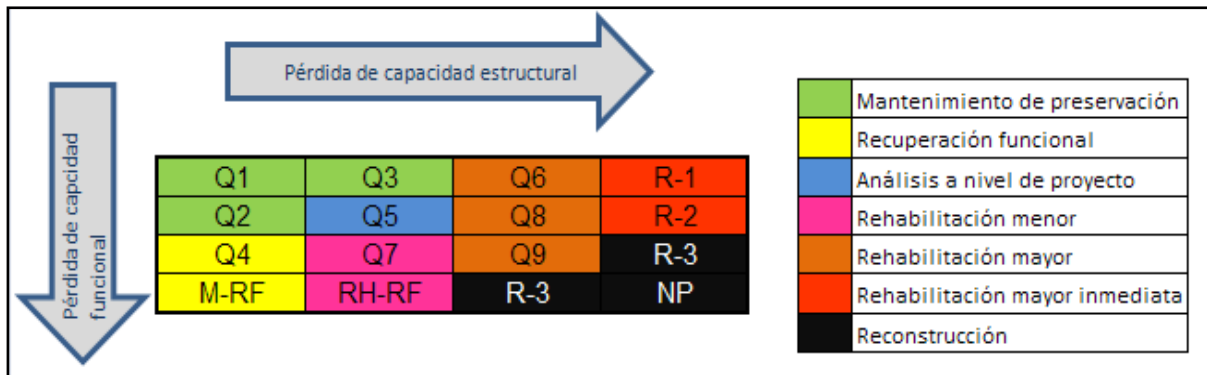


Figura 34. Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad

Fuente: LanammeUCR, 2012

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 brindan aporte un estructural. 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 el Cuadro 10, se puede observar el tipo de intervención (a nivel de red) propuesto para cada tramo analizado en la localidad de San Isidro, con base en las mediciones y evaluaciones realizadas en el 2016 por el personal del LanammeUCR y de la Municipalidad de San Isidro.

Cuadro 10. Tipo de intervención requerida a nivel de red para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de San Isidro

ID	Tramo	Código de Camino	Longitud (m)	Notas Q	Tipo de Intervención
1	1-1	406020	604.75	Q8	Rehabilitación mayor
2	1-2	406020	471.08	Q2	Mantenimiento de preservación
3	2	406016	803.35	Q8	Rehabilitación mayor
4	3	406019	1133.09	Q2	Mantenimiento de preservación
5	4	406018	1079.36	Q2	Mantenimiento de preservación
6	5-1	406049	407.89	RH-RF	Rehabilitación menor
7	5-2	406049	243.60	M-RF	Recuperación funcional
8	6	406009	720.97	NP	Reconstrucción
9	7	406010	166.14	Q2	Mantenimiento de preservación
10	8-1	406032	443.75	Q4	Recuperación funcional
11	8-2	406032	809.48	Q2	Mantenimiento de preservación
12	9-1	406035	618.53	Q4	Recuperación funcional
13	9-2	406035	373.23	NP	Reconstrucción
14	9-3	406035	180.32	R-3	Reconstrucción
15	10	406048	355.06	Q7	Rehabilitación menor
16	11-1	406007	919.63	Q1	Mantenimiento de preservación



ID	Tramo	Código de Camino	Longitud (m)	Notas Q	Tipo de Intervención
17	11-2	406007	723.57	Q2	Mantenimiento de preservación
18	12	406011	637.48	Q2	Mantenimiento de preservación
19	13-1	406072	374.40	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
20	13-2	406072	310.95	R-3	Reconstrucción
21	14-1	406004	338.26	Q2	Mantenimiento de preservación
22	14-2	406004	367.97	Q4	Recuperación funcional
23	15	406054	130.88	Sin Nota Q	Sin Tipo Intervención
24	16	406003	426.34	Q2	Mantenimiento de preservación
25	17	406046	660.16	Q5	Análisis a nivel de proyecto
26	18-1	406002	1026.67	Q8	Rehabilitación mayor
27	18-2	406002	373.50	RH-RF	Rehabilitación menor
28	19	406045	750.54	Q8	Rehabilitación mayor
29	20-1	406062	475.00	Q9	Rehabilitación mayor
30	20-2	406062	302.42	Q5	Análisis a nivel de proyecto
31	21	406071	432.13	R-3	Reconstrucción
32	22	406013	569.04	Q7	Rehabilitación menor
33	23	406005	626.68	Q2	Mantenimiento de preservación
34	24-2	406001	1118.31	Q4	Recuperación funcional
35	24-1	406001	781.44	Q2	Mantenimiento de preservación
36	25	406036	392.50	M-RF	Recuperación funcional
37	26	406037	2842.09	RH-RF	Rehabilitación menor
38	27-1	406022	351.51	Q7	Rehabilitación menor
39	27-2	406022	1491.60	Q9	Rehabilitación mayor
40	27-3	406022	237.25	Q2	Mantenimiento de preservación
41	28-1	406030	627.24	Q2	Mantenimiento de preservación
42	28-2	406030	325.74	Q4	Recuperación funcional
43	29	406008	486.64	Q2	Mantenimiento de preservación
44	30	406029	846.29	Q5	Análisis a nivel de proyecto
45	31	406052	552.03	Q4	Recuperación funcional
46	32	406025	1610.37	Q2	Mantenimiento de preservación
47	33-1	406024	230.84	Q9	Rehabilitación mayor
48	33-2	406024	236.17	Q5	Análisis a nivel de proyecto
49	34	406074	427.46	Q8	Rehabilitación mayor
50	35-1	406023	386.60	Q4	Recuperación funcional
51	35-2	406023	611.68	Q8	Rehabilitación mayor
52	36	406076	217.83	Q7	Rehabilitación menor
53	37	406026	656.35	Q5	Análisis a nivel de proyecto
54	38	406075	296.15	Q7	Rehabilitación menor
55	39	406027	761.18	Q2	Mantenimiento de preservación
56	40-1	406033	1242.08	R-3	Reconstrucción
57	40-2	406033	820.41	Q2	Mantenimiento de preservación



Es importante hacer énfasis en que estos resultados son válidos al momento de la evaluación (año 2016), 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 35 y Figura 36, se puede observar la distribución porcentual de los tipos de intervención requeridos según la cantidad de kilómetros analizados (35,4 km); es de apreciar que un 36% (12,7 km) de la longitud evaluada posee una buena condición estructural y funcional, por lo que únicamente requieren de un mantenimiento de preservación para brindar buenas condiciones de servicio; un 8% necesita una valoración a nivel de proyecto para identificar cuál sería el mejor tipo de intervención que podría aplicársele, pues se encuentran en una condición intermedia.

Se determinó que un total de 9 tramos (4,4 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 8 son candidatos para una rehabilitación menor (5,4 km); mientras que 9 tramos analizados (6,4 km) requieren una rehabilitación mayor, debido a que su capacidad estructural ha disminuido considerablemente. Asimismo, 374 m de la longitud evaluada, correspondientes al tramo 13-1 con código de camino 406072, 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 9 % de la longitud evaluada en San Isidro (3,3 km) debe aplicársele una reconstrucción parcial o total del pavimento, pues 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 el tramo 15 del análisis con código de camino 406054, el cual no fue posible clasificar con nota de calidad por no disponer de evaluaciones de índice de regularidad internacional; sin embargo, su deflectometría tuvo un valor de $91,5 \times 10^{-2}$ mm, catalogado como "Regular".

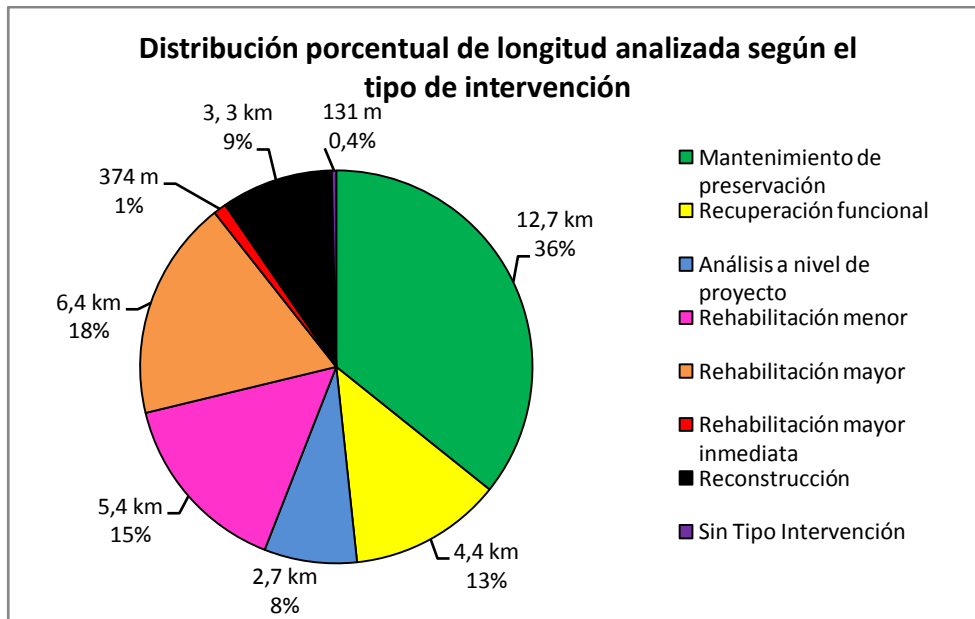


Figura 35. Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de San Isidro, según longitud

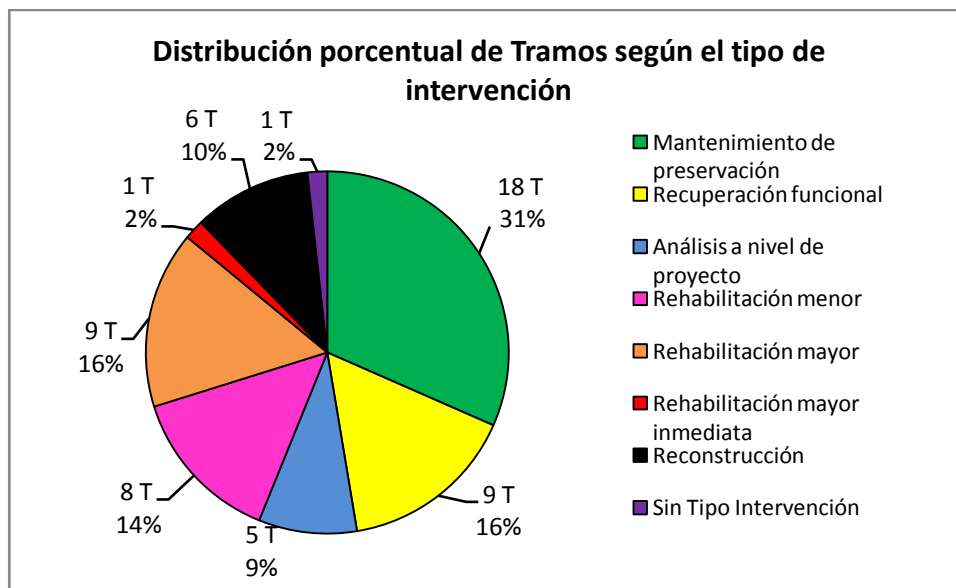


Figura 36. Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de San Isidro, según cantidad de tramos

En la Figura 37 se observa de manera gráfica el tipo de intervención propuesta para cada una de las secciones, según el estado estructural y las mediciones del IRI realizadas en el año 2016.

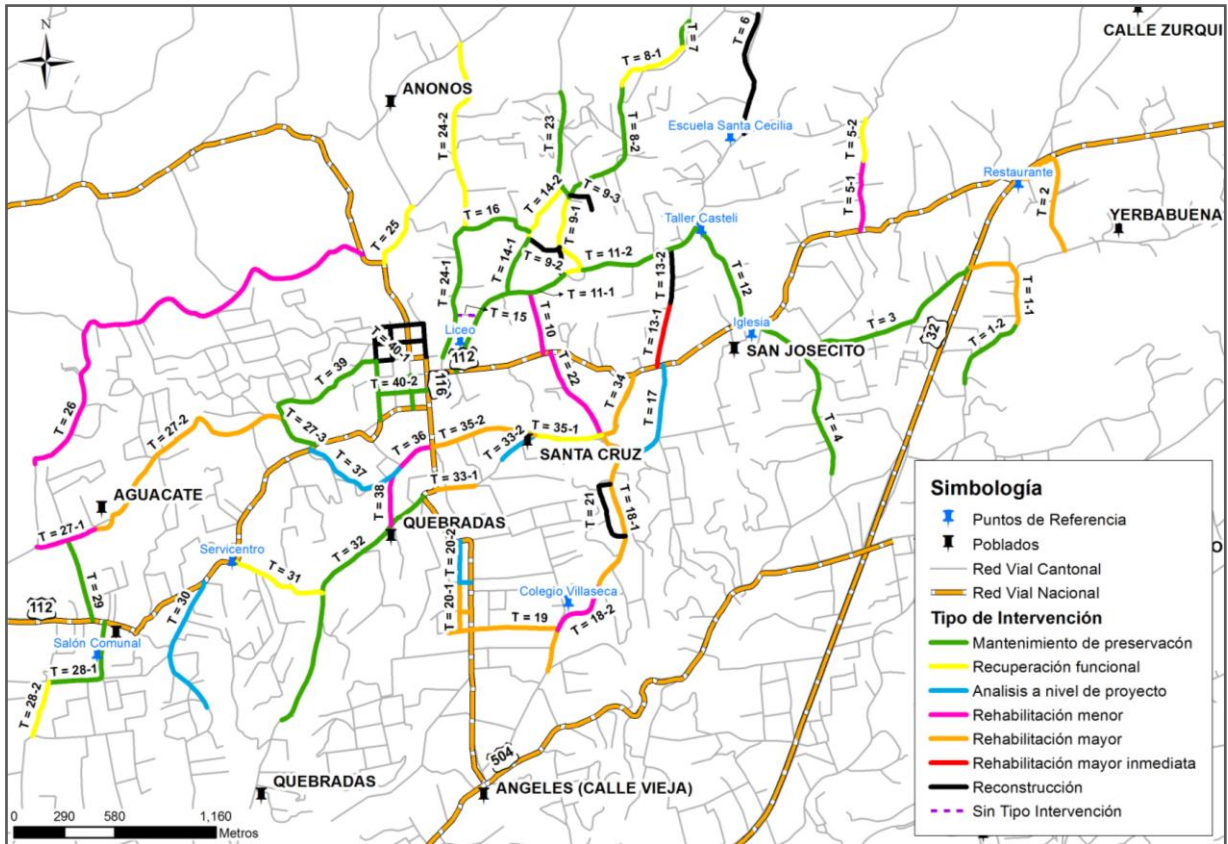


Figura 37. Tipo de intervención recomendado para cada tramo analizado.

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
- Análisis a nivel de proyecto
- Rehabilitación menor
- Rehabilitación mayor



- **Reconstrucción**

Para diseñar las diferentes intervenciones se recomienda 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 obtenidos a partir de los sondeos a cielo abierto. 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, pues debe realizarse el diseño de distintas “estructuras tipo” de la red vial cantonal de San Isidro de Heredia.

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 con base en los costos de intervenciones anteriores, ya sea por administración o por contrato. Si la municipalidad no cuenta con datos históricos de costos que sean suficientes para determinar la inversión necesaria de cada tipo de intervención, entonces podrían emplearse 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 del desarrollo del plan vial quinquenal de conservación y desarrollo del cantón.

Asimismo, es importante recalcar que los costos serían generados para estructuras características de las rutas municipales de San Isidro en un análisis a nivel estratégico; por lo tanto, para presupuestar o definir con exactitud el costo específico para un proyecto, se debería 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 cinco años, así como las políticas que se pretenden aplicar



para priorizar las rutas que se planean intervenir, los cuales se incorporarán al plan vial quinquenal de conservación y desarrollo 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 (por ejemplo, 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 mejor se adapta a los recursos disponibles y las metas institucionales que posee la municipalidad.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se realizaron 30 conteos vehiculares sobre la red vial cantonal de San Isidro, obteniendo un promedio del porcentaje de vehículos pesados de 6,3 %, con el menor porcentaje de 2,7 % y el mayor de 16,3 %.

Se ejecutaron 22 sondeos en donde se obtuvo que gran parte de las subrasantes analizadas corresponden a tipos de suelo MH según la clasificación SUCS y A-7-5 según la clasificación AASHTO, es decir suelos limosos o arcillosos, de tal manera que los suelos que componen la subrasante en su mayoría son materiales caracterizados por tener un comportamiento de baja capacidad soportante. Adicionalmente, al caracterizar las bases granulares se obtuvo que se clasifican como arena de acuerdo al tamaño de las partículas y además poseen un alto contenido de finos.

Se generaron 57 secciones de análisis para la localidad de San Isidro, los cuales tienen como objetivo definir unidades discretas para facilitar la gestión municipal en cuanto al mantenimiento y mejoramiento de la red.

De acuerdo con las pruebas y mediciones realizadas en 35.4 km en la red vial cantonal asfaltada de la Municipalidad de San Isidro de Heredia durante el año 2016, un 48% de la

Informe LM-PI-GM-INF-08-17	Fecha de emisión: Noviembre, 2017	Página 60 de 63
----------------------------	-----------------------------------	-----------------



longitud de tramos analizados, correspondiente a 17,1 km, poseen una buena condición estructural, mientras que un 29% de la longitud de los tramos evaluados (10,1 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 solo hay una sección de 920 m en buena condición funcional; 19 km (54 % de longitud de tramos analizados) se encuentran en una condición regular con valores de IRI entre 3,6 y 6,4m/km, y 15,3 km (44 % 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.

Entre los resultados más relevantes del análisis en la red vial cantonal de San Isidro, se obtiene que para las condiciones del pavimento, 6,4 km (18 % de la red vial analizada) requieren de refuerzo estructural que proporcione el soporte requerido para resistir las cargas de tránsito con un nivel de servicio aceptable.

De las rutas evaluadas 3,3 km requieren de reconstrucción, lo cual implica una intervención parcial o total de las capas granulares de la estructura y una nueva superficie de ruedo. Además 12,7 km evaluados poseen la condición funcional y estructural apta para realizar labores de mantenimiento preventivo; y 9,8 km requieren una recuperación de la condición funcional o rehabilitación menor. Finalmente, 2,7 km 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.

Es importante recalcar que los diferentes tipos de intervenciones sugeridos en este informe son generales y se enfocan en un nivel de análisis táctico, 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 sección al realizar la evaluación, es decir, si un tramo 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 vial quinquenal de conservación y desarrollo del cantón en donde se definan las secciones 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 en 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 implicaría inversiones mayores; de igual forma, deberían tener prioridad los tramos en la condición de preservación con el propósito de prolongar la vida útil de los mismos y maximizar la inversión realizada.

Además, es necesario que en el municipio se realice un diagnóstico interno de la organización, funciones desempeñadas y las responsabilidades de los diferentes miembros encargados de la gestión vial municipal con el objetivo de identificar los aspectos que se requieren fortalecer, lo cual permita realizar una gestión más eficiente y eficaz del mantenimiento y mejora de la red vial cantonal que administra.

Es importante que el plan vial quinquenal que se genere más adelante, se encuentre alineado con las metas a alcanzar y las políticas institucionales, 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 Belén, Heredia, Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica – San José, Costa Rica, Febrero, 2009,
- Proyecto N° UI-PC-03-08, Variaciones a los Rangos para la Clasificación Estructural de la Red Vial Nacional de Costa Rica, Unidad de Investigación en Infraestructura Vial (UIIVI), Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José Costa Rica, Agosto, 2008,
- 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,
- 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