



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe: LM-PI-GM-INF-02-18

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE VALVERDE VEGA: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS POR SECCIONES

Preparado por:

**Unidad de Gestión Municipal
LanammeUCR**



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

San José, Costa Rica

Noviembre, 2018



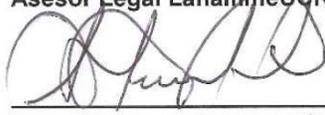
1. Informe LM-PI-GM-INF-02-18		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE VALVERDE VEGA: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS POR SECCIONES EN LA RED VIAL CANTONAL.		4. Fecha del Informe: Noviembre, 2018
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales 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 Este estudio forma parte de los entregables desarrollados a partir del Convenio de Cooperación entre la UCR y la Municipalidad de Valverde Vega, en el cual se contempló el análisis de las principales rutas de la red vial del cantón (28,8 km). En el 2018 se ejecutaron 22 conteos vehiculares, y se evaluó el pavimento mediante ensayos de Índice de Regularidad Internacional (IRI) y Deflectometría. Se caracterizó el tránsito vehicular y se realizó el diagnóstico de la red vial a través de la identificación y determinación de 32 secciones de carretera, definidas de acuerdo con condiciones similares de capacidad estructural, respetando la división establecida por el Código de Camino Municipal. El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo indicó que un 87% (25 km) de la longitud evaluada presenta una condición deficiente a muy deficiente con respecto a capacidad estructural. En cuanto a los valores promedio de IRI, se determinó que aproximadamente 25,7 km (89%) presenta un IRI superior a 6,4 m/km, que corresponde a una condición mala o muy mala. Se incluye en el análisis la propuesta del tipo de intervención general a nivel de red de acuerdo con la Metodología de Notas de Calidad, según su estado al momento de la evaluación. Posteriormente, se complementará el presente estudio, con otro documento que presente la caracterización de la estructura del pavimento de las rutas analizadas, en el que se definirá el tipo de material que las componen. Los informes referentes a la caracterización de la red funcionan como herramientas útiles, permitiendo 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 Municipal, Red Vial Cantonal, Valverde Vega	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 53
11. Preparado por: Ing. Lilly Xu Ye Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 02 / 11 / 18	12. Encargado de convenio: Ing. Sharline López Ramírez, MSc Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 02 / 11 / 18	13. Revisado por: Ing. Catalina Vargas Sobrado Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 02 / 11 / 18
14. Revisado por: Ing. Jaime Allen Monge, MSc Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 12 / 11 / 18	15. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR  Fecha: 05 / 11 / 18	16. Aprobado por: Ing. Guillermo Loria Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 05 / 11 / 18



TABLA DE CONTENIDO

1	ANTECEDENTES	6
1.1	ASESORÍA TÉCNICA:.....	7
1.2	TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y CAPACITACIÓN:.....	7
1.3	DECRETO N.º 40138: REGLAMENTO AL INCISO B) DEL ARTÍCULO 5 DE LA LEY N.º 8114..	7
	RELACIÓN DEL LANAMMEUCR CON LA UNIDAD TÉCNICA DE GESTIÓN MUNICIPAL	8
2	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL	9
2.1	IMPORTANCIA.....	9
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP)	9
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL	12
3	DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE VALVERDE VEGA.....	13
3.1	OBJETIVO	13
3.2	METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA RVC DE VALVERDE VEGA.....	13
3.3	EVALUACIÓN DE LA RVC DE VALVERDE VEGA.....	14
	3.3.1 TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD).....	15
	3.3.2 IDENTIFICAR LA CONDICIÓN FUNCIONAL.....	19
	3.3.3 IDENTIFICAR CONDICIÓN ESTRUCTURAL.....	23
	3.3.4 ANÁLISIS POR RUTAS	27
	3.3.5 NOTAS CALIDAD.....	33
3.4	TIPOS DE INTERVENCIÓN	40
3.5	DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	48
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
4.1	CONCLUSIONES	49
4.2	RECOMENDACIONES.....	50
5	REFERENCIAS	52

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 3 de 53
----------------------------	-----------------------------------	----------------



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Categorización del Índice de Regularidad Internacional	21
Cuadro 2. Notas de calidad de acuerdo con los resultados de la condición de IRI y FWD ...	34
Cuadro 3. Nota de calidad asignada a cada tramo en la localidad de Valverde Vega	37
Cuadro 4. Tipo de intervención requerida a nivel de red para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de Valverde Vega.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos.....	10
Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.....	12
Figura 3. Esquema metodológico para evaluar la red vial cantonal de Valverde Vega	14
Figura 4. Rutas analizadas en la localidad de Valverde Vega	15
Figura 5. Configuración de contadores y su colocación en sitio	17
Figura 6. Ubicación y descripción de los conteos en la localidad de Valverde Vega	18
Figura 7. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Valverde Vega	19
Figura 8. Representación física del Índice de Regularidad Internacional.....	20
Figura 9. Equipo Perfilómetro Inercial Láser y su configuración	21
Figura 10. Condición del IRI en las vías analizadas de Valverde Vega	22
Figura 11. Distribución porcentual de la condición según el IRI.....	23
Figura 12. Equipo de deflectometría de impacto	24
Figura 13. Clasificación de las mediciones de FWD para una estructura con base granular	24
Figura 14. Fotografía de la superficie de rueda de la Urbanización El Encanto	25
Figura 15. Condición de FWD de las vías evaluadas en Valverde Vega	26
Figura 16. Distribución porcentual de la condición del pavimento según FWD.....	27
Figura 17. Secciones homogéneas analizadas en el diagnóstico de la RVC.....	28
Figura 18. Deflectometría promedio de las vías analizadas	30
Figura 19. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio.....	31
Figura 20. Porcentaje de tramos clasificados según el FWD promedio	31
Figura 21. IRI promedio para las vías analizadas.....	32
Figura 22. Porcentaje de metros lineales clasificados según el IRI promedio.....	33

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 4 de 53
----------------------------	-----------------------------------	----------------



Figura 23. Porcentaje de tramos clasificados según el IRI promedio.....	33
Figura 24. Notas de Calidad para los tramos analizados.....	39
Figura 25. Distribución porcentual de las notas de calidad de acuerdo con la longitud analizada	40
Figura 26. Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad	41
Figura 27. Tipo de intervención sugerida para la RVC de Valverde Vega, según longitud ...	45
Figura 28. Tipos de intervención sugerida para la RVC de Valverde Vega, según cantidad de tramos.....	45
Figura 29. Tipo de intervención sugerido para cada tramo analizado.....	46
Figura 30. Sector sur y central del tramo 22.....	47
Figura 31. Sector norte del tramo 22.....	47

1 ANTECEDENTES

La Ley N.º 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.

Asimismo con el propósito de extender el campo de acción del LanammeUCR a las rutas municipales, para permitir la transferencia de conocimientos, experiencias y asesorías que promuevan la mejora paulatina de la red vial cantonal (RVC), en el año 2007 la Ley N.º 8603 reformó el artículo 6 de la Ley N.º 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”* (Ley N.º 8603, 2007).

Por otro lado, desde el año 2016 entró en vigencia la Ley Especial para la Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal, Ley N.º 9329. En esta ley se indica la transferencia de la atención plena y exclusiva de la red vial cantonal a los gobiernos locales. Conjuntamente, especifica que a los municipios les *“corresponderá planear, programar, diseñar, administrar, financiar, ejecutar y controlar su construcción, conservación, señalamiento, demarcación, rehabilitación, reforzamiento, reconstrucción, concesión y operación, de conformidad con el plan vial de conservación y desarrollo (quinquenal) de cada municipio”* (Ley N.º 9329, 2016).

Considerando las responsabilidades en la administración de la red vial municipal y con el afán de generar relaciones estratégicas con otras entidades, la Municipalidad de Valverde Vega solicitó el apoyo técnico del LanammeUCR para evaluar la condición de 28,8 km de la red vial asfaltada que administra, mediante la suscripción de un Convenio Marco entre la Municipalidad de Valverde Vega y la Universidad de Costa Rica, el cual presenta las áreas de trabajo que se definen a continuación:

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 6 de 53
----------------------------	-----------------------------------	----------------

1.1 Asesoría Técnica:

La Unidad de Gestión Municipal del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR brindará asesoría técnica a la Municipalidad para realizar las siguientes actividades que se incluyen en el Convenio Marco:

1. *El diagnóstico de la condición 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.*
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 generar un Sistema Técnico de Gestión Vial Municipal.*
5. *Asesoría en el desarrollo de herramientas de gestión para pavimentos, puentes y otros elementos de la red vial, así como en técnicas de mantenimiento y construcción de vías a través de investigación aplicada.*
6. *Acompañamiento en la ejecución de proyectos de construcción de vías, aceras, drenajes, ciclovías y otros relacionados con la red vial cantonal y el transporte de acuerdo con la Ley N.º 9329, en cuanto a estudios preliminares, inspección y ejecución de ensayos a materiales.*

1.2 Transferencia de Tecnología y Capacitación:

Según el Convenio Marco suscrito entre la Municipalidad de Valverde Vega y la Universidad de Costa Rica en el 2018, *“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.º 40138: Reglamento al inciso b) del artículo 5 de la Ley N.º 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

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 7 de 53
----------------------------	-----------------------------------	----------------



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, también la de ejecutar y actualizar el inventario de la red vial del cantón y elaborar un expediente de caminos con detalles como la fecha, tipo y 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.

Relación del LanammeUCR con la Unidad Técnica de Gestión Municipal

La Escuela de Planificación y Promoción Social de la Universidad Nacional (EPPS-UNA) y el LanammeUCR, en el marco del Primer Programa de la Red Vial Cantonal – MOPT - PRÉSTAMO BID No. 2098/OC-CR, ejecutó un programa modular de acciones educativas para que 40 gobiernos locales desarrollaran su Plan Quinquenal de Conservación y Desarrollo. En el año 2016 la Unidad Técnica de Gestión Vial de Valverde Vega participó del proceso de capacitación y mediante la metodología “*aprender-haciendo*” desarrollaron su Plan Quinquenal de Conservación y Desarrollo.

Posterior a esto, se generó un acercamiento entre miembros de la Unidad Técnica de Gestión Municipal del cantón de Valverde Vega y la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR, cuya relación se formalizó por medio de la firma del “Convenio Específico de Cooperación entre la Municipalidad de Valverde Vega y la Universidad de Costa Rica” en el mes de abril del presente año.

A partir de esta relación se han desarrollado actividades de capacitación y asesoría en temas específicos, requeridos por el municipio, tales como: uso del cono de penetración dinámico (DCP, por sus siglas en inglés), bacheo en pavimentos flexibles, diseño de pavimentos flexibles mediante la metodología AASHTO 93, especificaciones técnicas de materiales, entre otros.

Los caminos a evaluar, cuyos resultados se muestran en este informe, fueron seleccionados por la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal de Valverde Vega. Para esto se hizo uso de la información sintetizada y presentada en el Plan Quinquenal de Conservación y Desarrollo.

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 8 de 53
----------------------------	-----------------------------------	----------------

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; permitiendo un servicio de transporte con un nivel adecuado, eficiente y eficaz para sus usuarios. Entre los elementos que la conforman se encuentran los pavimentos, puentes, la señalización vertical y horizontal, taludes, terraplenes, túneles, drenajes, espaldón, dispositivos de seguridad tales como barreras de contención, entre otros.

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 les 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.

El objetivo último se enfoca en maximizar los beneficios obtenidos al invertir en la red vial cantonal de la Municipalidad de Valverde Vega 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 rehabilitación, reconstrucción y mantenimiento. De manera general, los pavimentos y

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 9 de 53
----------------------------	-----------------------------------	----------------

carreteras deben ofrecer comodidad de viaje a los usuarios, economía en operación de los vehículos y seguridad ante accidentes. Con este objetivo, la Municipalidad debe establecer planes estratégicos que desarrollen 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 Sistema de Administración de Pavimentos (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 SAP 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.

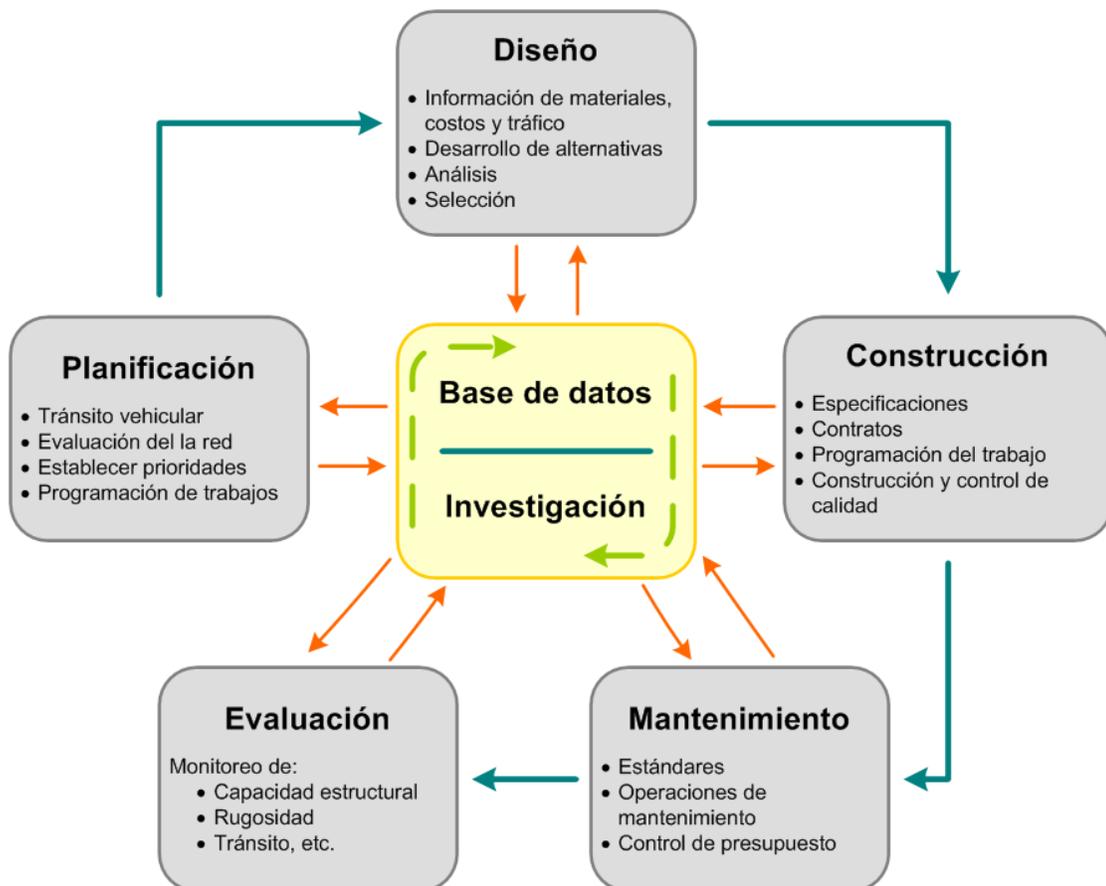


Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos

Fuente: Modificado de Haas, 1993

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 10 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

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. Para aplicar de manera eficaz un sistema de gestión es necesario que el mismo cuente con un mínimo de requerimientos esenciales:

- Capacidad de ser “amigable con el usuario”, 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, el peso y la velocidad asociado a ellos, solicitaciones de medio ambiente, materiales empleados y técnicas constructivas, y de mantenimiento, entre otros. Por ello, 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 livianos y pesados viajando por las carreteras, lo cual impone mayores cargas sobre las estructuras de pavimentos, y por consecuencia atrae 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 inicia con un elemento fundamental: el 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 una operación segura y de bajo costo (Solminihac, 1998).

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 11 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

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 recomendado para el proceso de gestión vial en el ámbito municipal.



Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial

Fuente: Modificado de Allen, 2008

Tal y como se observa en el esquema anterior, el diagnóstico técnico es el proceso inicial, en el cual el producto principal es la base de datos que permite determinar el estado actual de la red, y a partir del cual se establecen políticas de priorización y planes de conservación y rehabilitación de las vías del cantón.

En los 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 o 5 años).
- Nivel operativo: se enfoca en el diseño de los proyectos por ejecutar en el año siguiente.

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 12 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

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.

3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE VALVERDE VEGA

3.1 Objetivo

Evaluar y diagnosticar el estado de 28,8 km de la red vial cantonal de la Municipalidad de Valverde Vega. Esto con el fin de obtener una base de datos con características técnicas de la infraestructura vial que permita la emisión de recomendaciones y sirva de fundamento para la toma de decisiones en la planificación y selección de alternativas oportunas de intervención.

3.2 Metodología para evaluar la RVC de Valverde Vega

El análisis de la RVC 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.

La caracterización de la estructura del pavimento correspondiente a la actividad del inciso 4, se entregará en un segundo informe, esto debido a que a la fecha de emisión de este estudio no se cuenta con los resultados de los ensayos de suelos. En dicho informe se presentará la estructura y el tipo de material que componen el pavimento en las diferentes rutas del estudio.

En la Figura 3, se presenta el esquema metodológico implementado para determinar el diagnóstico de las vías analizadas para el cantón de Valverde Vega. 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.

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 13 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

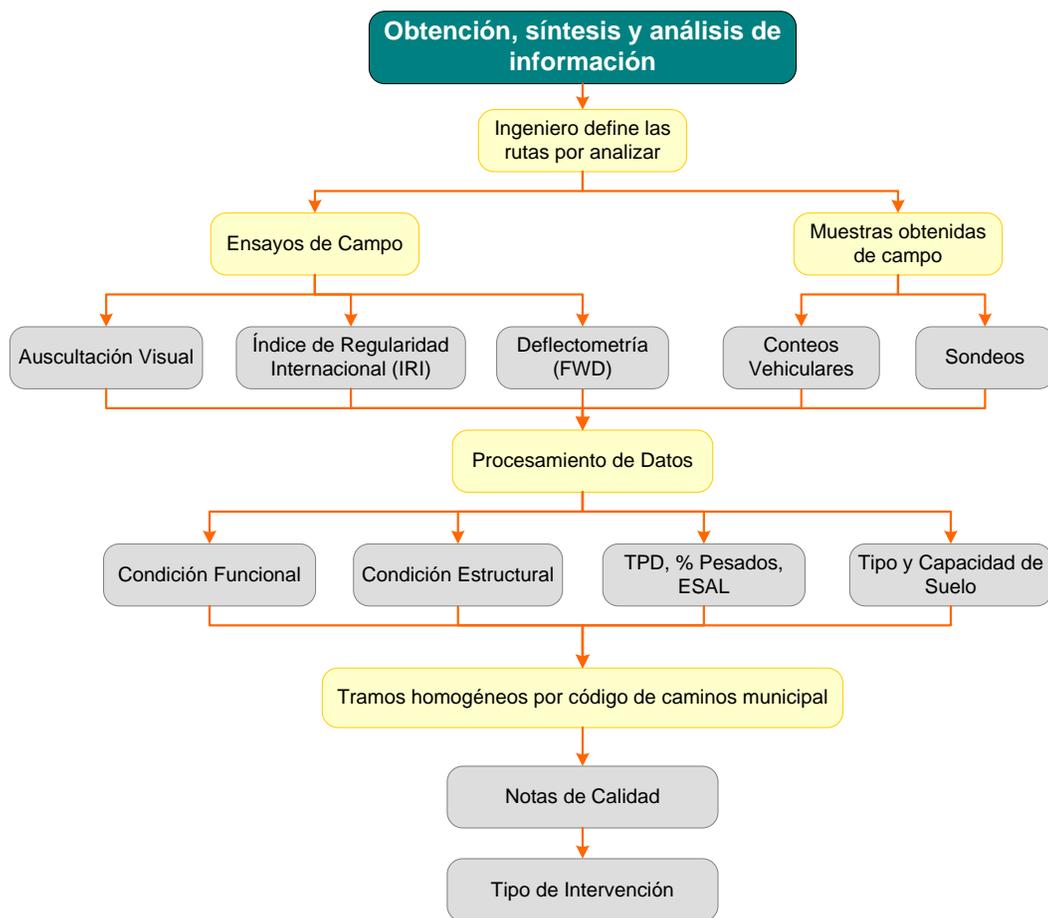


Figura 3. Esquema metodológico para evaluar la red vial cantonal de Valverde Vega

Fuente: Xu & Vargas, 2017

3.3 Evaluación de la RVC de Valverde Vega

A continuación en la Figura 4 se muestran las rutas evaluadas en este informe, correspondientes a caminos con superficie de rudo asfáltica.

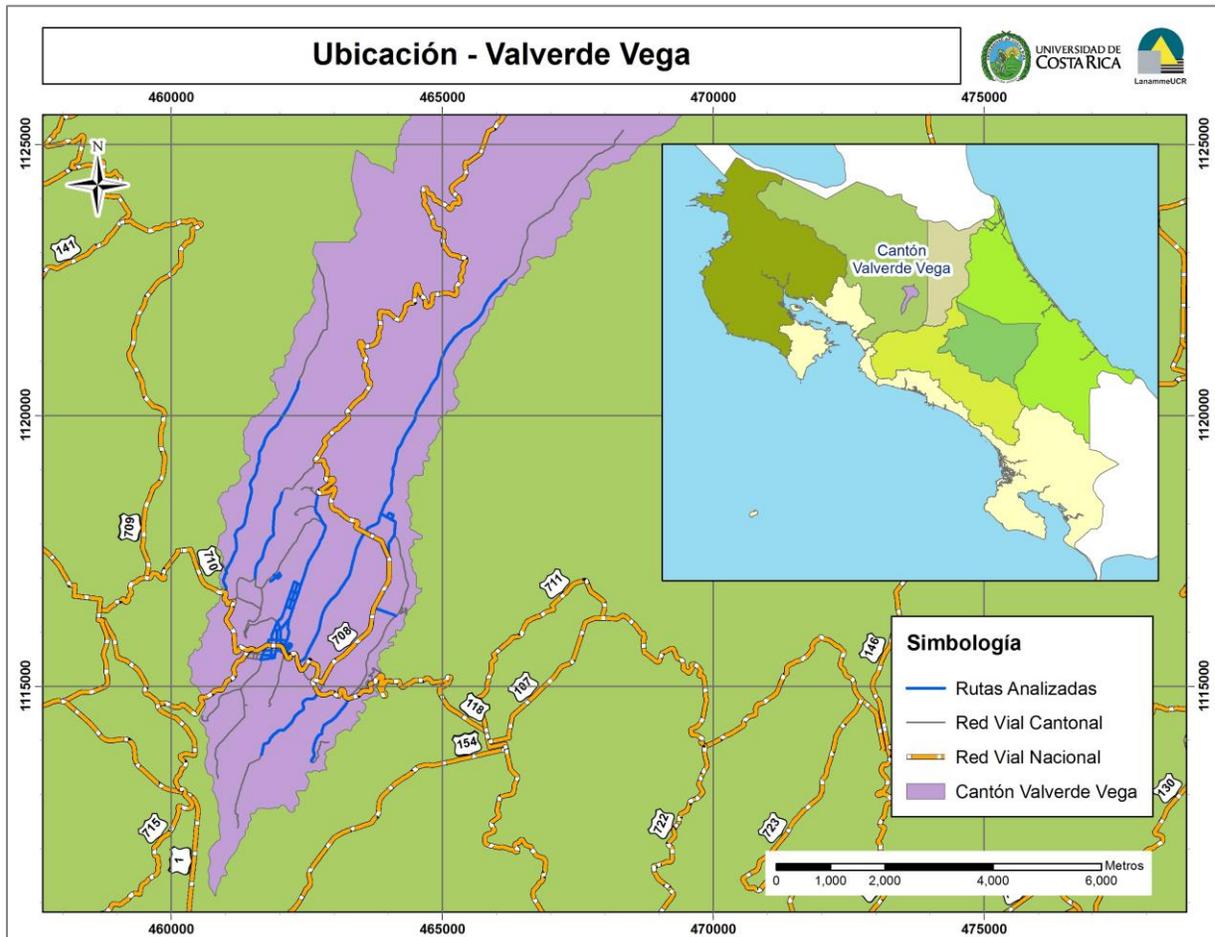


Figura 4. Rutas analizadas en la localidad de Valverde Vega

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 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 Valverde Vega 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:

- 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 25 horas para tomar en cuenta ambos períodos de hora pico, facilitando el análisis del cálculo del TPDA (Tránsito promedio diario anual) y evitar tener conteos parciales.
- 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 periódicamente, aproximadamente cada año o máximo cada dos años. Por tanto, servirá 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).

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 16 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

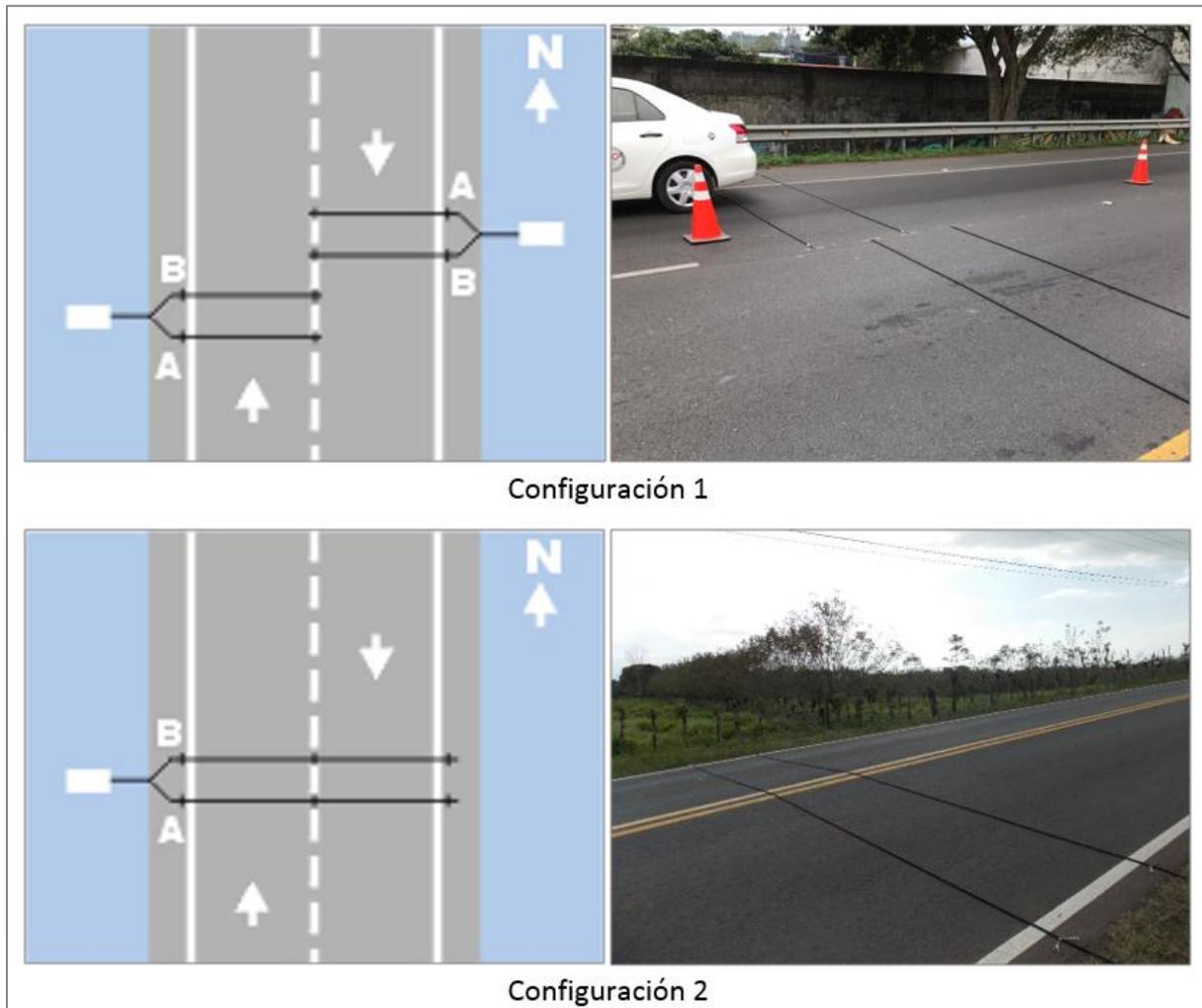


Figura 5. Configuración de contadores y su colocación en sitio

Fuente: Modificado de Allen, 2008

La configuración 1 en la Figura 5 muestra la disposición ideal de los contadores. En la configuración 2 se muestra una disposición más simple pero que podría resultar en pérdida de precisión.

Durante el año 2018, la Municipalidad de Valverde Vega realizó un total de 22 conteos vehiculares en calles representativas en la zona analizada, con el propósito de caracterizar el tránsito vehicular según la configuración de sus ejes. En la Figura 6 se muestra la ubicación exacta de los conteos realizados, con su respectivo valor de tránsito promedio diario (TPD) y tránsito promedio diario anual (TPDA).

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 17 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

Dado que los vehículos pesados ejercen un mayor desgaste sobre el pavimento que los livianos, adicionalmente se presenta su porcentaje con respecto al total de tránsito evaluado. El mismo se obtiene mediante la suma de diferentes tipos de vehículos pesados: camiones con eje simple trasero (C2+), camiones con eje dual trasero (C2), buses con eje simple trasero de llantas dobles (B2), camiones con eje tándem trasero (C3) y tracto camiones con semirremolque (T3-S2). En la Figura 7 se muestra el porcentaje de vehículos pesados obtenido para la red vial cantonal analizada, en donde el promedio corresponde a un valor de 5,2% con valores mínimos y máximos de 2,8% y 9,2%.

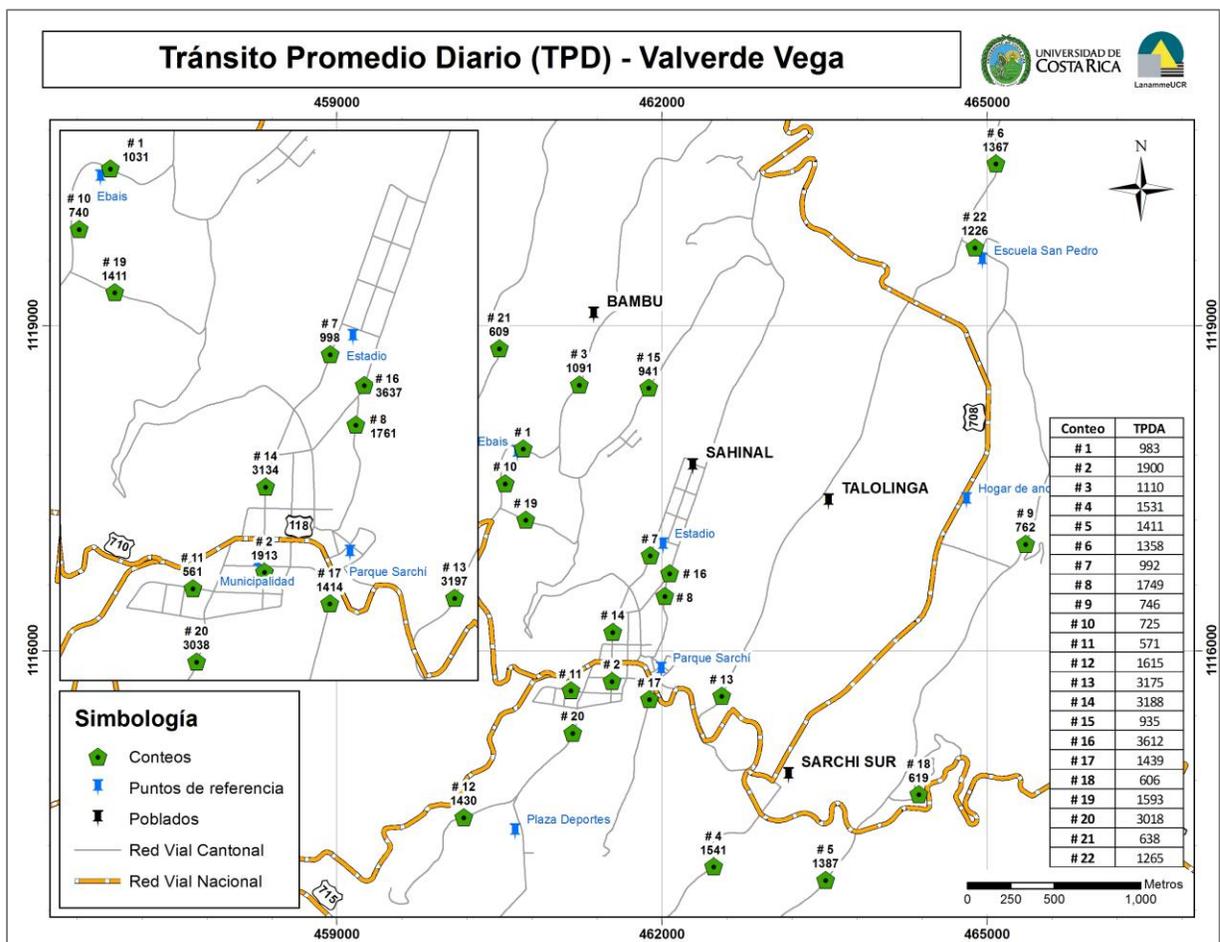


Figura 6. Ubicación y descripción de los conteos en la localidad de Valverde Vega

Fuente: Elaboración propia (Información recopilada por UTGV-Valverde Vega)

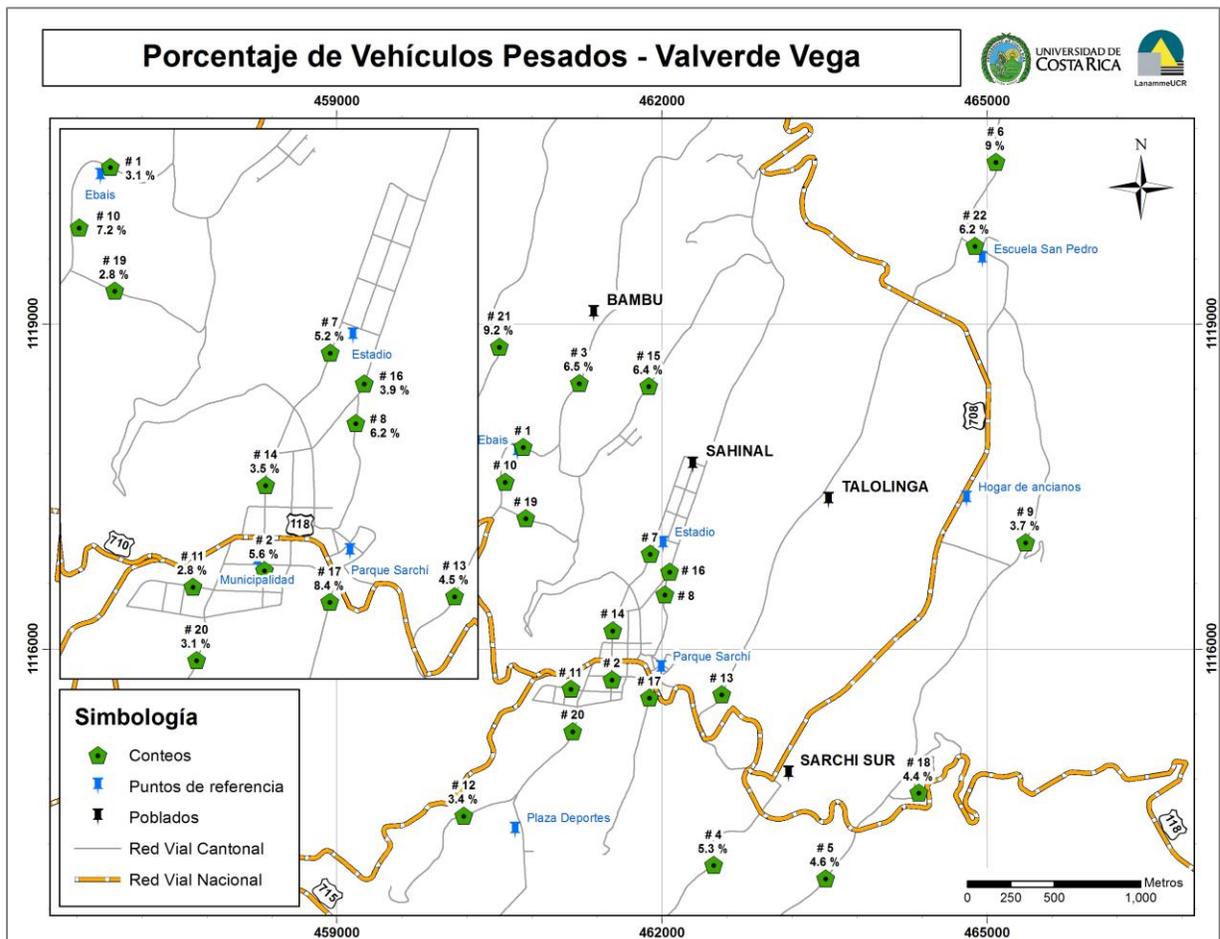


Figura 7. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Valverde Vega

Fuente: Elaboración propia (Información recopilada por UTGV-Valverde Vega)

3.3.2 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).

3.3.2.1 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. Está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h. El IRI aumenta conforme la irregularidad aumenta, como se presenta en la Figura 8.

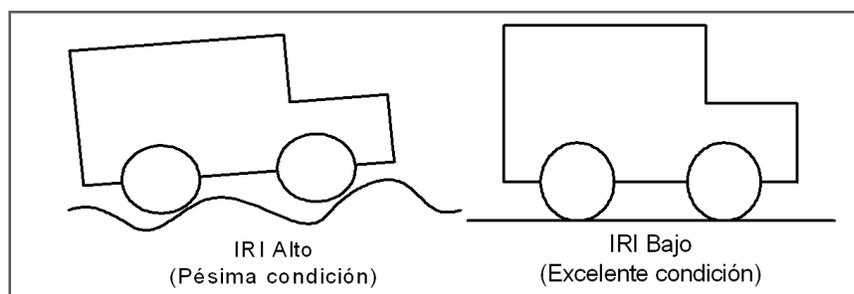


Figura 8. Representación física del Índice de Regularidad Internacional

Fuente: Allen, 2008

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino. No obstante, dado que la medición final corresponde a un valor medio de mediciones puntuales, es necesario especificar la longitud para la cual se determina dicho valor.

El equipo utilizado en el LanammeUCR para la medición del IRI a cada 25 metros es del tipo Perfilómetro Inercial Láser, 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 del vehículo y de la temperatura 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 9.

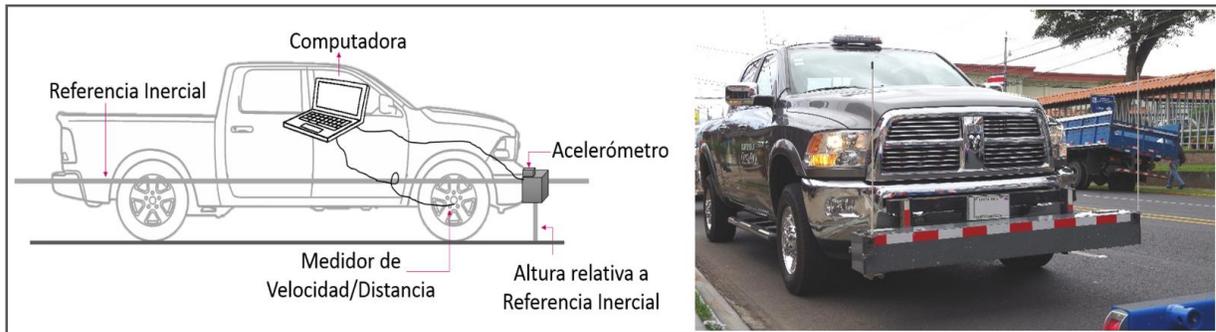


Figura 9. Equipo Perfilómetro Inercial Láser y su configuración

Fuente: Elaboración propia

El IRI se evaluó sobre la red vial pavimentada durante el mes de mayo y junio del año 2018, abarcando las rutas contempladas en el convenio, cubriendo una longitud aproximada de 28,8 km. En la Figura 10, se muestran gráficamente los resultados de estas mediciones, las cuales se clasificaron según la calidad funcional de los cuatro rangos presentados para RVC 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

Fuente: Arias, Allen & López, 2012

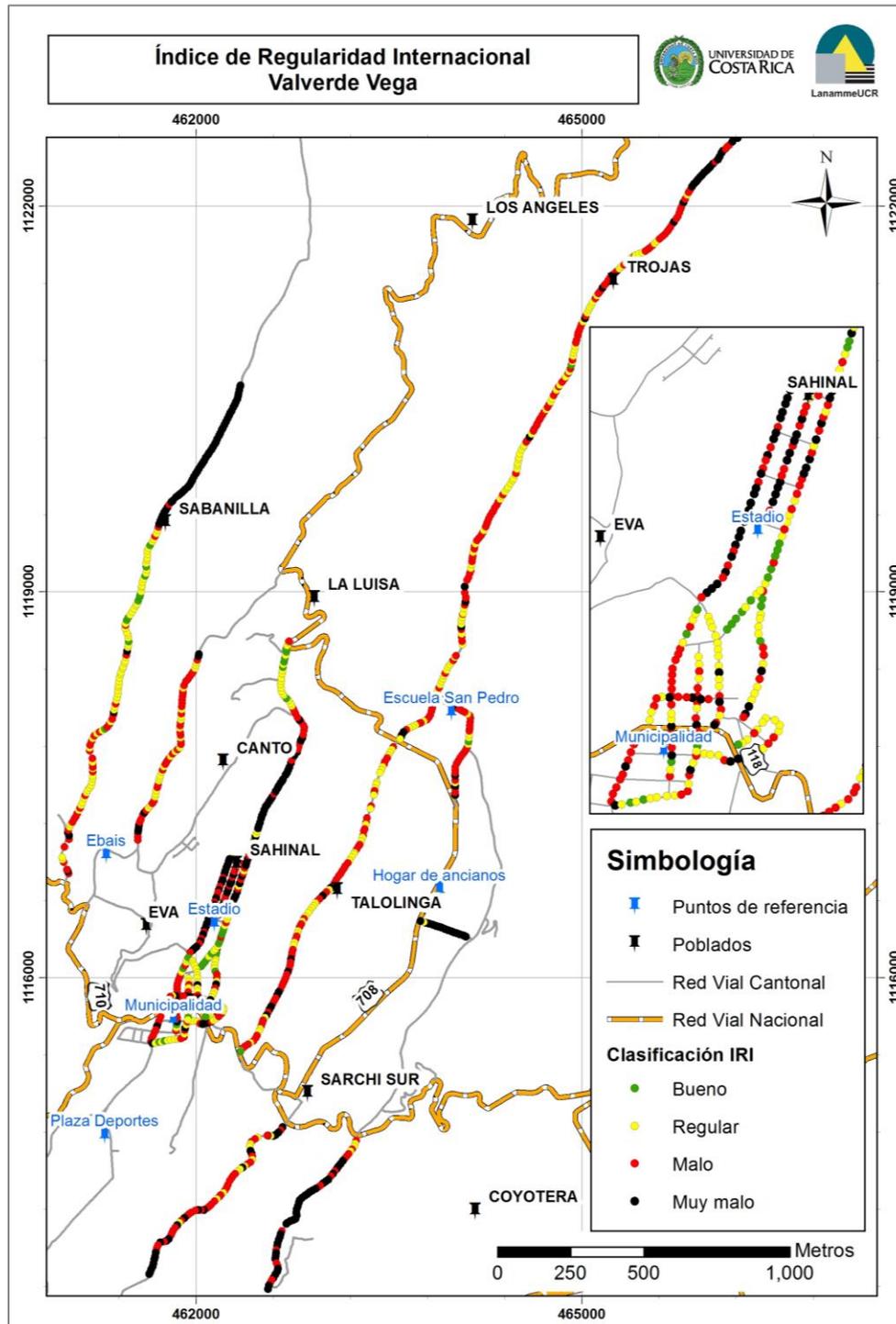


Figura 10. Condición del IRI en las vías analizadas de Valverde Vega

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11 se presenta la distribución porcentual de cada una de las mediciones de IRI en las cuatro categorías definidas. Se determinó que un 30% de las estimaciones de IRI a cada 25 metros se encuentran en la categoría "Regular", además, un 40% y 26% se pueden clasificar en las categorías de "Malo " y "Muy Malo" respectivamente, es decir que un 66% 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 4% de las mediciones presenta una "Buena" condición funcional.

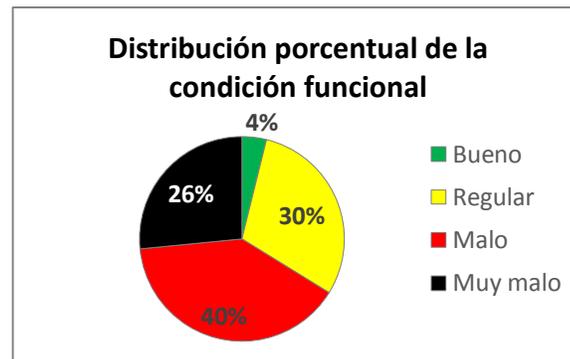


Figura 11. Distribución porcentual de la condición según el IRI

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 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 consiste en aplicar una carga de impacto estándar de 40 kN sobre el pavimento, el cual simula la carga dinámica de una llanta de vehículo. Mediante nueve geófonos distribuidos en un arreglo lineal a lo largo de 1,8 m, se registran las deflexiones obtenidas por el impacto, siendo la zona donde se aplica directamente la carga la ubicación del primer geófono, la que registra la deflexión representativa a la totalidad de la estructura del pavimento. A continuación, en la Figura 12, se muestra el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.



Figura 12. Equipo de deflectometría de impacto

Fuente: Modificado de Allen, 2008

En la Figura 13 se muestra los rangos de clasificación de los resultados del ensayo de deflectometría (para una estructura con base granular), tomada a partir del Proyecto LM-PI-GM-03-2014 “Clasificación de los resultados obtenidos del Deflectómetro de Impacto para la evaluación estructural de la Red Vial Cantonal de Costa Rica” (LanammeUCR, 2014), en donde se determinaron rangos de clasificación según parámetros observados en diferentes zonas de la RVC.

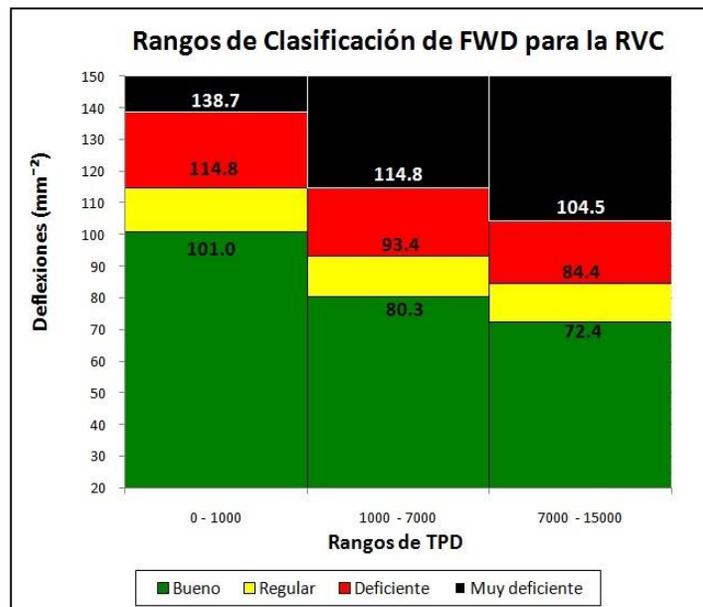


Figura 13. Clasificación de las mediciones de FWD para una estructura con base granular

Fuente: Arias & Allen, 2014

Cabe mencionar además, que los rangos de clasificación de las mediciones de FWD de la Figura 13 corresponden a una metodología para estructuras de pavimento con carpeta asfáltica, y no necesariamente representan la condición estructural para pavimentos con superficies de ruedo de tratamiento superficial. Esta restricción se debe a que el tratamiento superficial no representa un aporte estructural para el pavimento a diferencia de la carpeta asfáltica, sino que funciona como impermeabilizante del pavimento y como un mecanismo para generar una superficie de ruedo más uniforme en comparación a una de grava expuesta (lastre).

No obstante, aunque las mediciones de deflectometría sobre los pavimentos con tratamiento superficial no se puedan categorizar en los rangos descritos en la Figura 13. Los resultados sí se pueden emplear como referencia para saber la capacidad estructural y para determinar retrocálculos de módulos resilientes de la estructura del pavimento. Este caso se presentó en la Urbanización El Encanto, en donde se ejecutaron ensayos de deflectometría, sin embargo al realizar la visita a campo se observa que se trata de un tratamiento superficial. (Figura 14).



Figura 14. Fotografía de la superficie de ruedo de la Urbanización El Encanto

Fuente: Elaboración propia

Para la red vial de Valverde Vega las mediciones de deflectometría se realizaron con el equipo Deflectómetro de Impacto a cada 50 metros a lo largo de 28,8 km de la red considerada para el estudio, durante el mes de mayo del 2018. 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 "Muy deficiente" (puntos en color negro) en los diferentes caminos analizados.

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 25 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

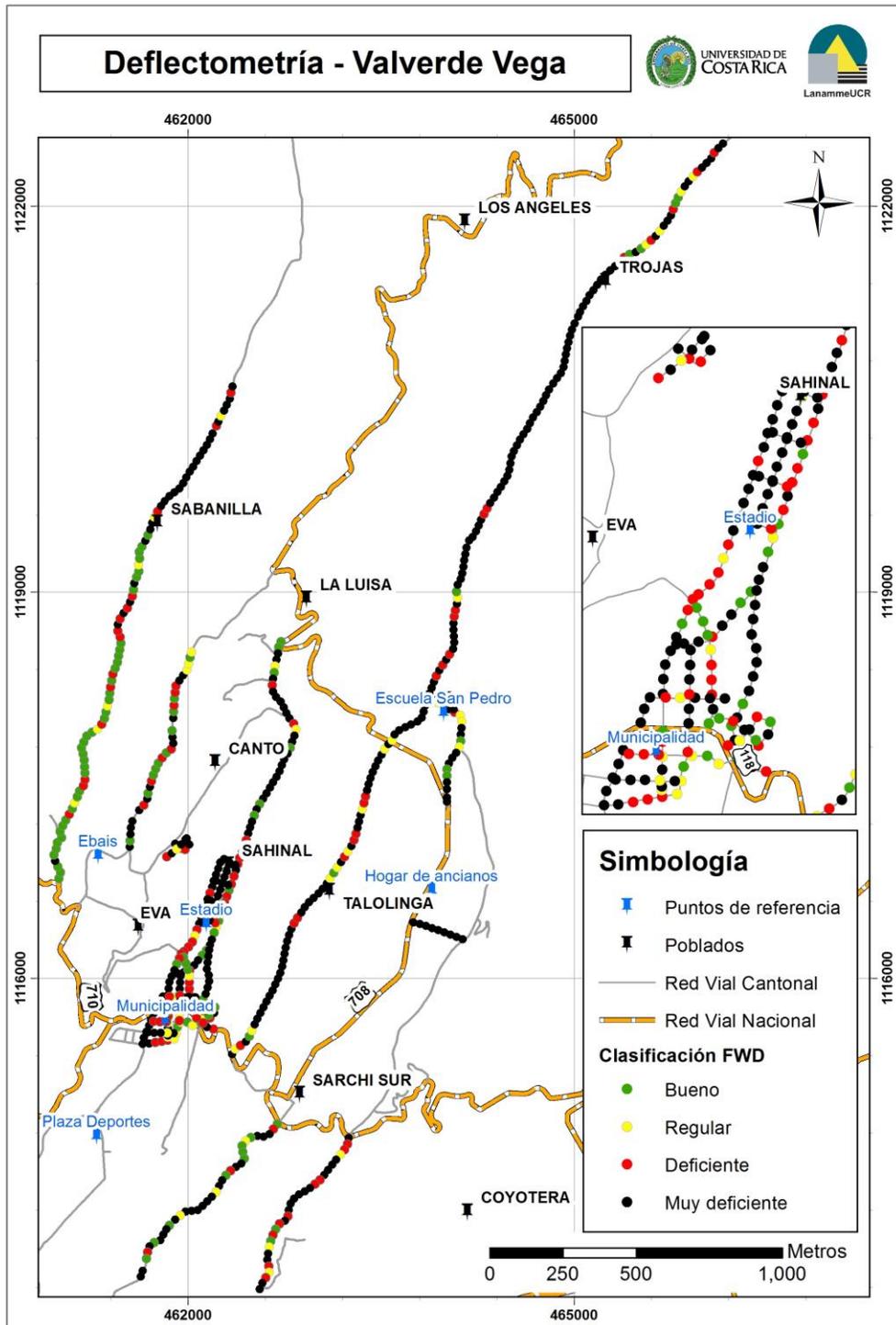


Figura 15. Condición de FWD de las vías evaluadas en Valverde Vega

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de la Figura 16 se muestra que un 17% 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 75% de las mediciones del pavimento presentan un desempeño "Deficiente" o "Muy deficiente", indicando que podrían requerir tratamientos de refuerzo o reconstrucción para que puedan trabajar de manera óptima.

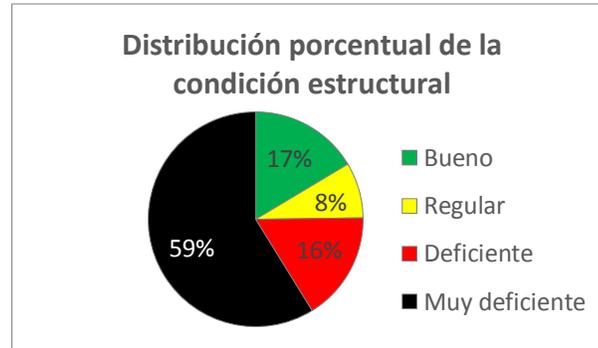


Figura 16. Distribución porcentual de la condición del pavimento según FWD

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Análisis por rutas

Las evaluaciones funcionales y estructurales que se realizaron fueron analizadas integralmente con el propósito de determinar la condición general de la estructura de pavimento. 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 AASHTO (1993). En el presente caso de estudio, se deben tomar en cuenta los códigos de camino de cada ruta y posteriormente realizar el procedimiento estadístico, para no alterar la organización administrativa de los caminos municipales.

El análisis de las rutas en Valverde Vega 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 Valverde Vega, en donde los tramos con mismo código de camino municipal, pero con condiciones estructurales y funcionales distintas se subdividieron por medio de procedimientos estadísticos, procurando obtener tramos de la mayor longitud posible.

Cabe mencionar que con los resultados obtenidos de los ensayos de IRI y FWD, el 26 de julio del presente año se realizó una visita a campo para validar los resultados en los diferentes tramos. Durante la visita fue posible corroborar que los resultados obtenidos en el análisis se ajustaran a lo observado en campo, además, cuando fue necesario se realizaron modificaciones a la configuración de los tramos homogéneos inicialmente propuestos, de acuerdo a lo visto en campo.

A partir de aproximadamente 28,8 km evaluados en la red vial de Valverde Vega, se obtuvo un total de 32 tramos que se presentan de forma gráfica en la Figura 17.

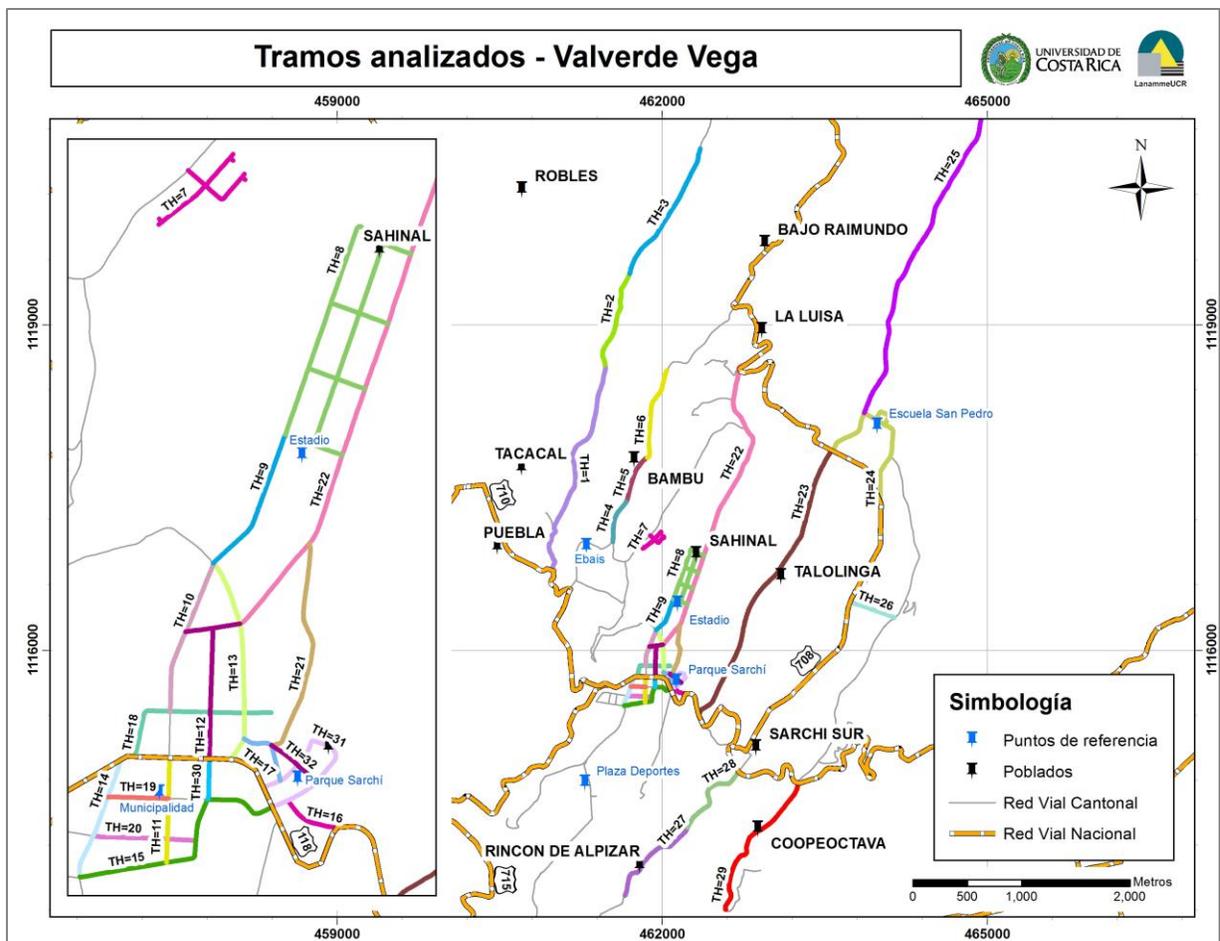


Figura 17. Secciones homogéneas analizadas en el diagnóstico de la RVC.

Fuente: Elaboración propia



Es importante aclarar que los valores promedio asociados a cada sección ofrecen una idea de la condición general del mismo específicamente para el momento de la evaluación, ya que a cada tramo se le asocia cierta dispersión producto de la variabilidad en el tiempo de la evaluación de IRI y la deflectometría.

3.3.4.1 Deflexión Promedio

La categorización del estado estructural de cada tramo se realiza de acuerdo con la clasificación que se presenta en la Figura 13 de la sección 3.3.3, donde se consideran diferentes intervalos para clasificar la deflectometría según el TPD de las vías con base granular.

En la Figura 18 se muestra de manera gráfica el valor de la deflectometría promedio (FWD promedio) para cada uno de los tramos analizados, según las evaluaciones realizadas en el año 2018.

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 29 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

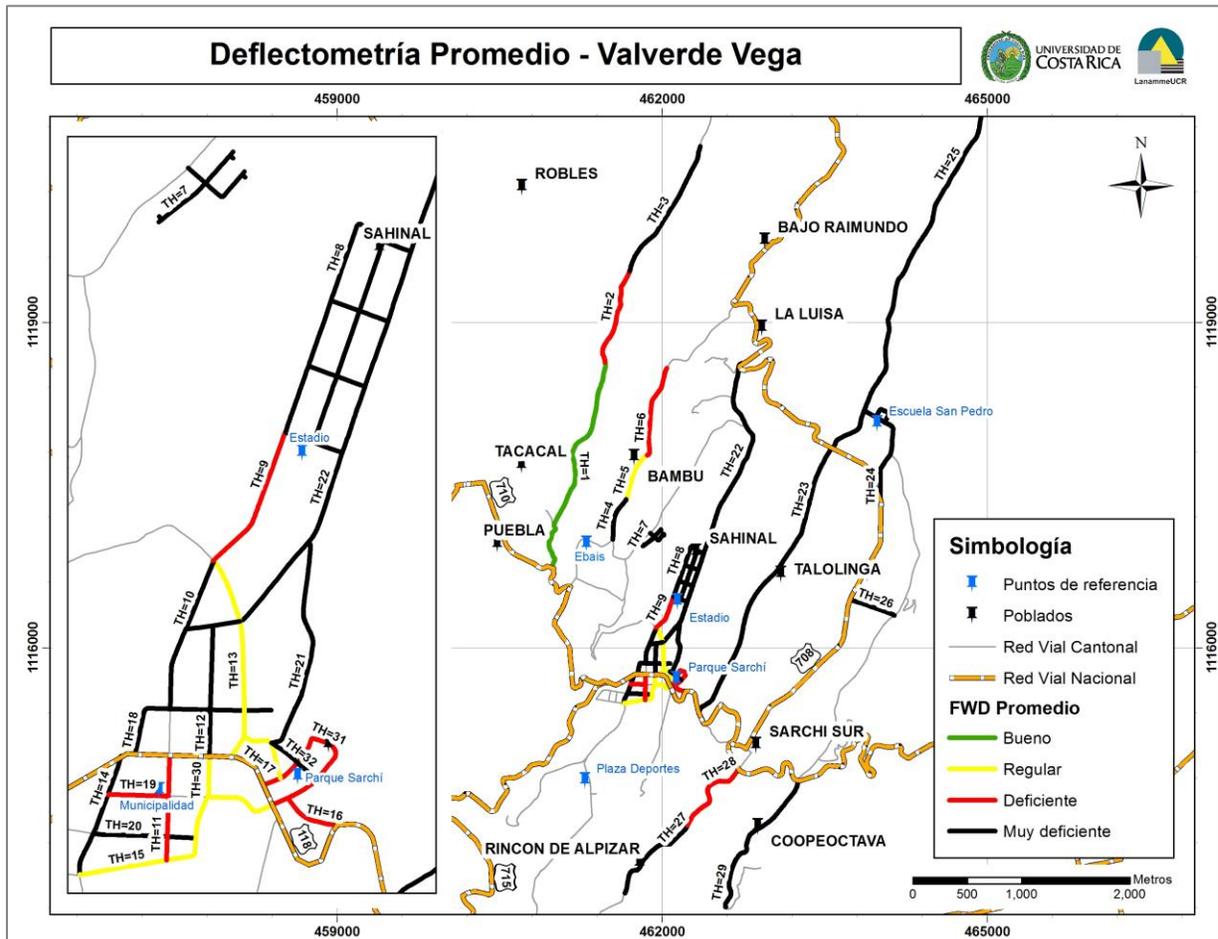


Figura 18. Deflectometría promedio de las vías analizadas

Fuente: Elaboración propia

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 19 y Figura 20.

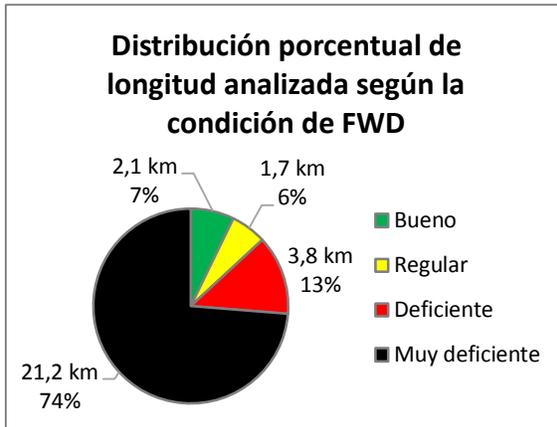


Figura 19. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio

Fuente: Elaboración propia

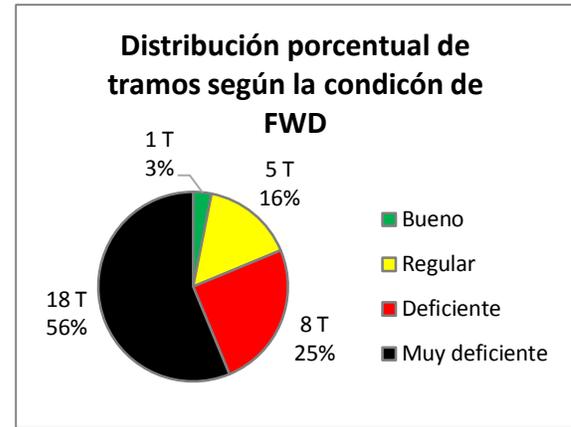


Figura 20. Porcentaje de tramos clasificados según el FWD promedio

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Figura 19 y Figura 20 es posible observar que un 87% de la longitud evaluada (aproximadamente 25 km distribuidos en 26 tramos) poseen 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. En cambio, únicamente un tramo equivalente al 7% de la longitud analizada (2,1 km) presenta una adecuada condición estructural. Adicionalmente, cabe mencionar que aproximadamente 1,7 km distribuidos en 5 secciones de caminos, se encuentran en la categoría "Regular". Con lo anterior, se evidencia la necesidad de atender las capas profundas del pavimento, pues al intervenir únicamente las capas superficiales no se estaría solucionando el problema de raíz.

3.3.4.2 *IRI promedio*

Se realizó una caracterización del IRI en una longitud de 28,8 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, tal y como se muestra en la Figura 21, en la cual existe una predominancia de los tramos en color rojo y negro, correspondientes a la condición mala y muy mala, respectivamente.

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 31 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

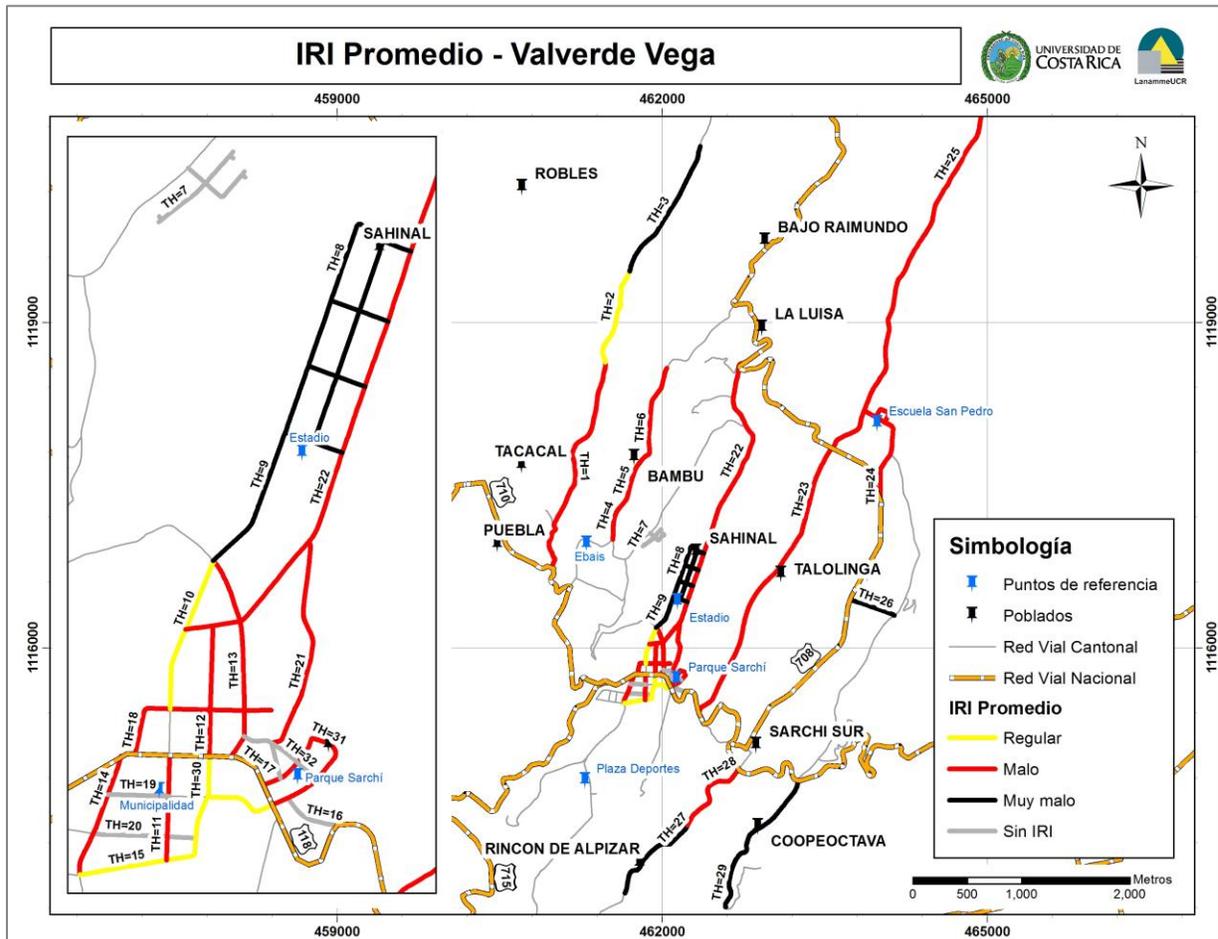


Figura 21. IRI promedio para las vías analizadas

Fuente: Elaboración propia

La distribución de la cantidad de tramos y metros lineales asociados a cada categoría de IRI de acuerdo con las mediciones del año 2018, se muestra porcentualmente en la Figura 22 y Figura 23.

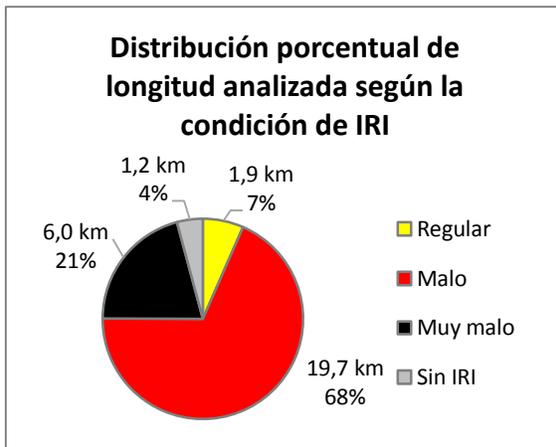


Figura 22. Porcentaje de metros lineales clasificados según el IRI promedio

Fuente: Elaboración propia

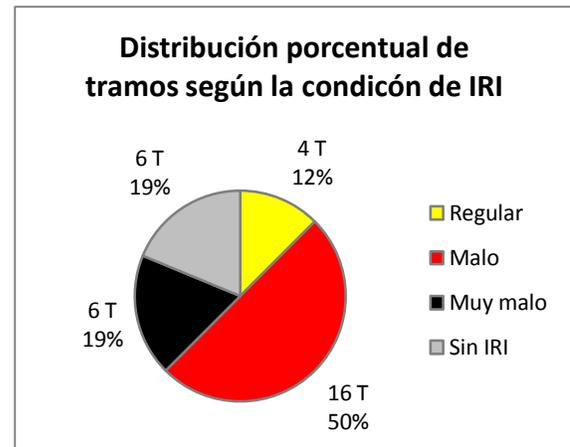


Figura 23. Porcentaje de tramos clasificados según el IRI promedio

Fuente: Elaboración propia

Según la información que se muestra en la Figura 22 y Figura 23, se registró que únicamente 7% de la longitud analizada (1,9 km) se encuentra en condición “Regular”, mientras que 25,7 km (89% de la longitud analizada distribuidos en 22 tramos) poseen una condición “Mala” o “Muy Mala”. Además, no se obtuvieron tramos en condición “Buena”, y en 1,2 km no se realizaron estimaciones de IRI, pues eran rutas de difícil acceso para el equipo de medición o no se lograba alcanzar las velocidades requeridas para realizar la evaluación, sin embargo, sí se lograron realizar 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.

3.3.5 Notas Calidad

El estado de cada uno de los tramos fue 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)**, el cual define la estrategia de intervención más adecuada, a nivel de gestión, para cada tramo.

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 33 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

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.

En el informe LM-PI-GM-14-12 del LanammeUCR, se propone una serie de matrices que establecen notas de calidad en función de los resultados de la condición de IRI y deflectometría medidos al momento de la evaluación, tomando en cuenta diferentes valores de tránsito vehicular. Para simplificar el procedimiento, se utiliza una matriz general (ver Cuadro 2), en donde se asignan las notas de calidad de acuerdo con los rangos de clasificación obtenidos para la condición de IRI y deflectometría.

Cuadro 2. 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: Modificado de Arias, 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 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 recarpeteos o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido a dar aporte estructural significativo, por 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 sobrecarpetas 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.

3.3.5.1 Notas de calidad de la red vial analizada

Las notas de calidad se asignaron según el procedimiento descrito en la sección 3.3.5 utilizando el Cuadro 2, donde los parámetros utilizados para la asignación de cada nota de calidad son el IRI promedio y la FWD promedio caracterizada según el tipo de base asociada (granular o estabilizada) y flujo vehicular característico.

En el Cuadro 3 se puede observar el detalle de los valores promedio de IRI y deflectometría para cada tramo en los 28,8 km analizados, correspondientes a las condiciones de la infraestructura para el año 2018, además se indica la nota de calidad asociada a los valores obtenidos.

Cuadro 3. Nota de calidad asignada a cada tramo en la localidad de Valverde Vega

Id	Tramo	Código de Camino	Longitud (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Notas Q
1	1	212003	2071	85,75	6,67	Q4
2	2	212003	903	116,99	4,28	Q8
3	3	212003	1341	171,05	13,39	NP
4	4	212002	404	162,53	9,11	R-3
5	5	212002	465	88,86	6,48	Q7
6	6	212002	845	112,90	7,38	Q9
7	7	212071	428	154,71	-	Sin nota Q
8	8	212039	1500	181,88	10,78	NP
9	9	212039	335	134,07	10,52	R-3
10	10	212031	345	151,37	6,22	R-2
11	11	212031	233	103,03	7,44	Q9
12	12	212031	412	151,62	7,03	R-3
13	13	212031	451	85,36	6,64	Q7

Fuente: Elaboración propia

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 37 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------



Cuadro 3. Nota de calidad asignada a cada tramo en la localidad de Valverde Vega
(Continuación)

Id	Tramo	Código de Camino	Longitud (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Notas Q
14	14	212031	280	145,91	7,84	R-3
15	15	212031	549	89,77	6,23	Q5
16	16	212031	134	111,13	-	Sin nota Q
17	17	212031	146	83,69	-	Sin nota Q
18	18	212031	377	147,35	9,02	R-3
19	19	212031	134	109,16	-	Sin nota Q
20	20	212031	228	150,70	-	Sin nota Q
21	21	212056	482	166,64	7,15	R-3
22	22	212019	2852	122,16	7,66	R-3
23	23	213013	2791	142,75	7,28	R-3
24	24	212034	1787	171,06	8,05	R-3
25	25	212014	5053	168,01	7,91	R-3
26	26	212025	437	209,44	13,29	NP
27	27	212006	919	120,07	10,88	NP
28	28	212006	791	110,41	8,46	Q9
29	29	212036	1440	128,39	11,01	NP
30	30	212031	90	91,84	4,87	Q5
31	31	212031	407	95,44	7,73	Q9
32	32	212031	130	124,17	-	Sin nota Q

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 24 se puede observar cada sección de análisis clasificada según la metodología de notas de calidad.

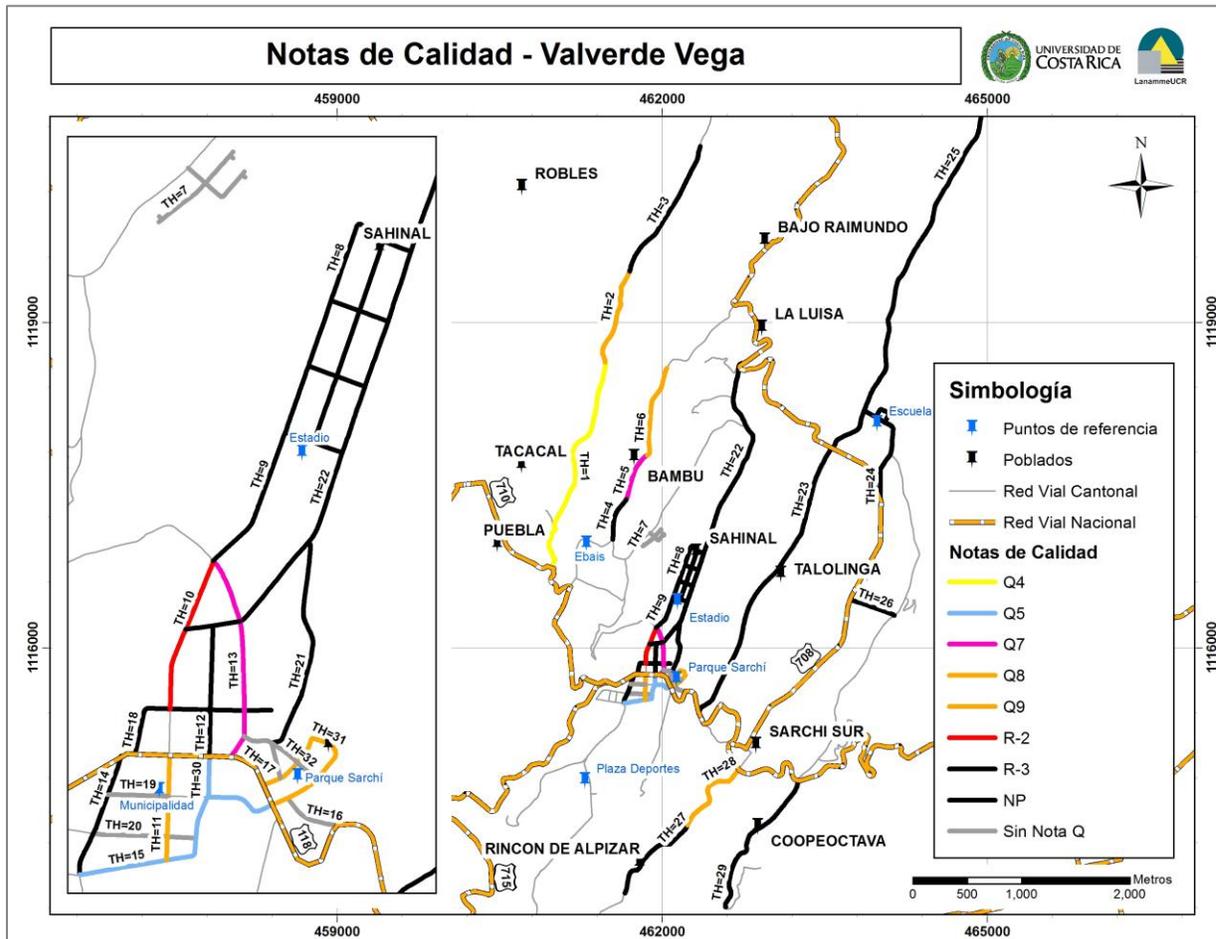


Figura 24. Notas de Calidad para los tramos analizados

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 25, se puede observar la distribución porcentual de las diferentes notas de calidad de acuerdo con la longitud analizada, en donde la nota de calidad R-3 representa el 52% de la longitud evaluada (10 tramos equivalentes a 14,8 km), seguido por la nota NP (5 tramos correspondientes a 5,6 km), ambas asociadas a niveles muy avanzadas de deterioros funcionales y estructurales.

La sección del gráfico en color gris claro (1,2 km) representa los tramos a los cuales no fue posible clasificar con nota de calidad por no disponer de evaluaciones de Índice de Regularidad Internacional. Se recomienda analizar los resultados obtenidos de deflectometría en estos tramos, y realizar una auscultación visual para determinar la condición superficial que

presentan, con el fin de evaluar posibles intervenciones que se podrían ejecutar específicamente en estas secciones.

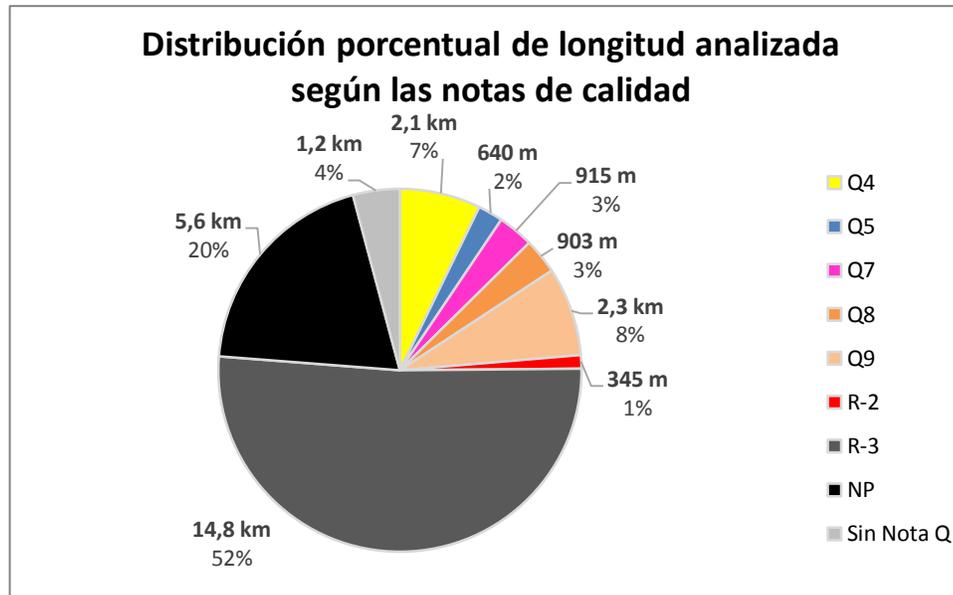


Figura 25. Distribución porcentual de las notas de calidad de acuerdo con la longitud analizada

Fuente: Elaboración propia

3.4 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 posteriormente ser aplicadas a un nivel táctico–operativo, con el objetivo de generar el diseño específico de las intervenciones a nivel de proyecto y determinar así el presupuesto necesario para ejecutar cada los proyectos que se definan como prioritarios por el municipio.

En la Figura 26, se asocia cada nota de calidad según el tipo de intervención que se recomienda a nivel de red. Es importante remarcar la diferencia existente entre el tipo de intervención identificada con color naranja y rojo (rehabilitación mayor y rehabilitación mayor

inmediata respectiva), pues a pesar de que ambos tipos de intervenciones se refieren a una rehabilitación considerable, 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.

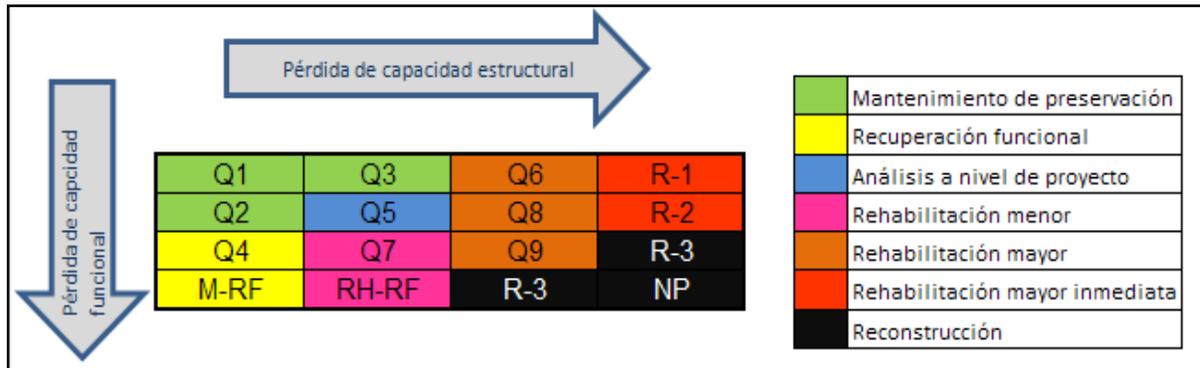


Figura 26. Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad

Fuente: Arias, 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 un aporte 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 que se debe realizar.
- 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 4, se puede observar el tipo de intervención (a nivel de red) propuesto para cada tramo analizado en la localidad de Valverde Vega, con base en las mediciones y evaluaciones realizadas en el 2018 por el personal del LanammeUCR y de la Municipalidad de Valverde Vega.

Cuadro 4. Tipo de intervención requerida a nivel de red para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de Valverde Vega

Id	Tramo	Código de Camino	Longitud (m)	Notas Q	Tipo de Intervención
1	1	212003	2071	Q4	Recuperación funcional
2	2	212003	903	Q8	Rehabilitación mayor
3	3	212003	1341	NP	Reconstrucción
4	4	212002	404	R-3	Reconstrucción
5	5	212002	465	Q7	Rehabilitación menor
6	6	212002	845	Q9	Rehabilitación mayor
7	7	212071	428	Sin nota Q	Sin tipo de intervención
8	8	212039	1500	NP	Reconstrucción
9	9	212039	335	R-3	Reconstrucción

Fuente: Elaboración propia

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 42 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------



Cuadro 4. Tipo de intervención requerida a nivel de red para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de Valverde Vega (Continuación)

Id	Tramo	Código de Camino	Longitud (m)	Notas Q	Tipo de Intervención
10	10	212031	345	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
11	11	212031	233	Q9	Rehabilitación mayor
12	12	212031	412	R-3	Reconstrucción
13	13	212031	451	Q7	Rehabilitación menor
14	14	212031	280	R-3	Reconstrucción
15	15	212031	549	Q5	Análisis a nivel de proyecto
16	16	212031	134	Sin nota Q	Sin tipo de intervención
17	17	212031	146	Sin nota Q	Sin tipo de intervención
18	18	212031	377	R-3	Reconstrucción
19	19	212031	134	Sin nota Q	Sin tipo de intervención
20	20	212031	228	Sin nota Q	Sin tipo de intervención
21	21	212056	482	R-3	Reconstrucción
22	22	212019	2852	R-3	Reconstrucción
23	23	213013	2791	R-3	Reconstrucción
24	24	212034	1787	R-3	Reconstrucción
25	25	212014	5053	R-3	Reconstrucción
26	26	212025	437	NP	Reconstrucción
27	27	212006	919	NP	Reconstrucción
28	28	212006	791	Q9	Rehabilitación mayor
29	29	212036	1440	NP	Reconstrucción
30	30	212031	90	Q5	Análisis a nivel de proyecto
31	31	212031	407	Q9	Rehabilitación mayor
32	32	212031	130	Sin nota Q	Sin tipo de intervención

Fuente: Elaboración propia

Es importante enfatizar en que estos resultados son válidos al momento de la evaluación (año 2018), por lo tanto para planificar las diferentes intervenciones es importante contrastar esos resultados con lo observado en sitio al momento en que se realizarán los trabajos.

En la Figura 27 y Figura 28, se puede observar la distribución porcentual de los tipos de intervención requeridos según la cantidad de kilómetros analizados (28,8 km); es de apreciar que un 3% de la longitud evaluada (640 m) necesita una valoración a nivel de proyecto para identificar cuál sería el mejor tipo de intervención que podría aplicársele, pues se encuentra en

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 43 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------



una condición intermedia. Además, se determinó que el tramo 1 de 2,1 km es el único que requiere 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, únicamente 2 (tramo 5 y 13) son candidatos para una rehabilitación menor (915 m); mientras que 5 tramos analizados (3,2 km) requieren una rehabilitación mayor, debido a que su capacidad estructural ha disminuido considerablemente.

En un 71% de la longitud evaluada en Valverde Vega (20,4 km) se debe aplicar una reconstrucción parcial o total del pavimento, pues presenta daños severos y probablemente algunos de ellos hayan llegado al final de su vida útil. Asimismo, 345 m de la longitud evaluada (tramo 10 con código de camino 2-12-071) se le debe dar prioridad, pues requiere una intervención de rehabilitación mayor inmediata, de lo contrario en poco tiempo podría cambiar de condición y necesitar trabajos de reconstrucción.

Finalmente se menciona que la sección de los gráficos en color gris claro (1,2 km) representa los tramos en donde no fue posible recomendar un tipo de intervención, pues no cuentan con mediciones del índice de Regularidad Internacional. No obstante, al analizar los resultados de la condición estructural en estas secciones, la mayoría poseen resultados de clasificación de deflectometría catalogados como “Deficiente” o “Muy Deficiente”, por lo que independientemente de la condición de IRI que posean, estos tramos deben intervenir desde las capas inferiores del pavimento, lo cual a su vez permite mejorar la condición superficial de los tramos.

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 44 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

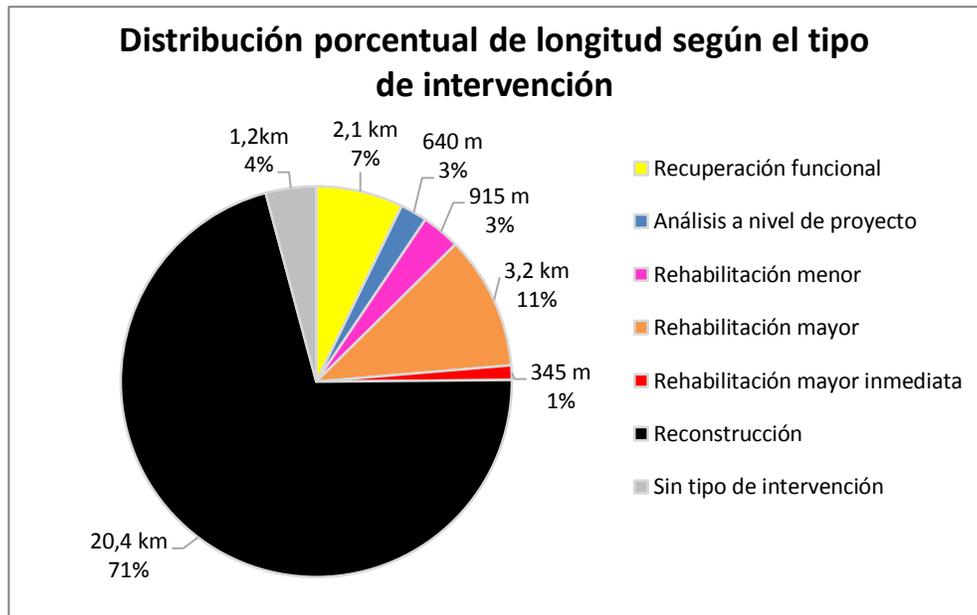


Figura 27. Tipo de intervención sugerida para la RVC de Valverde Vega, según longitud

Fuente: Elaboración propia

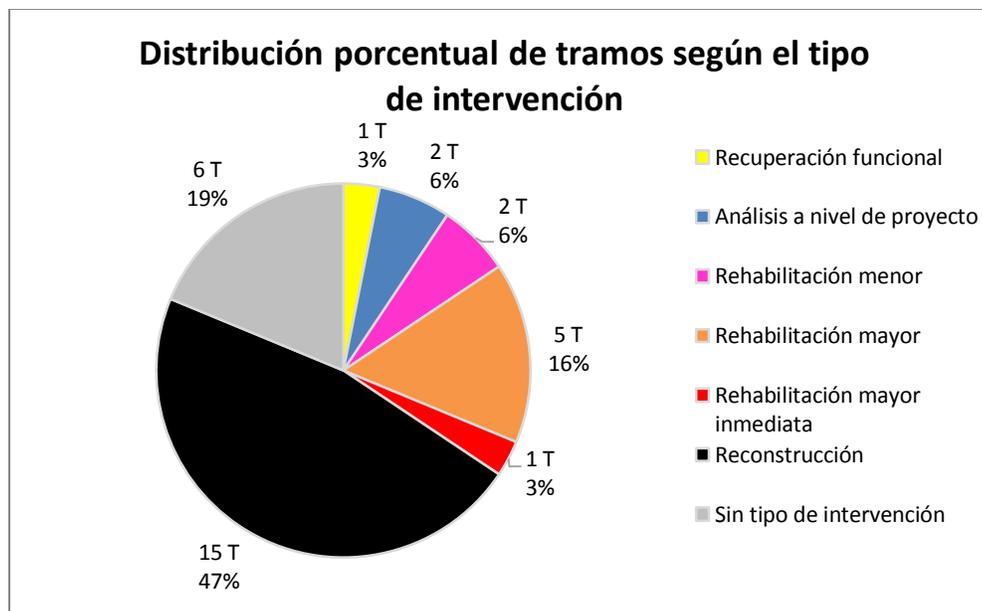


Figura 28. Tipos de intervención sugerida para la RVC de Valverde Vega, según cantidad de tramos

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 29 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 2018.

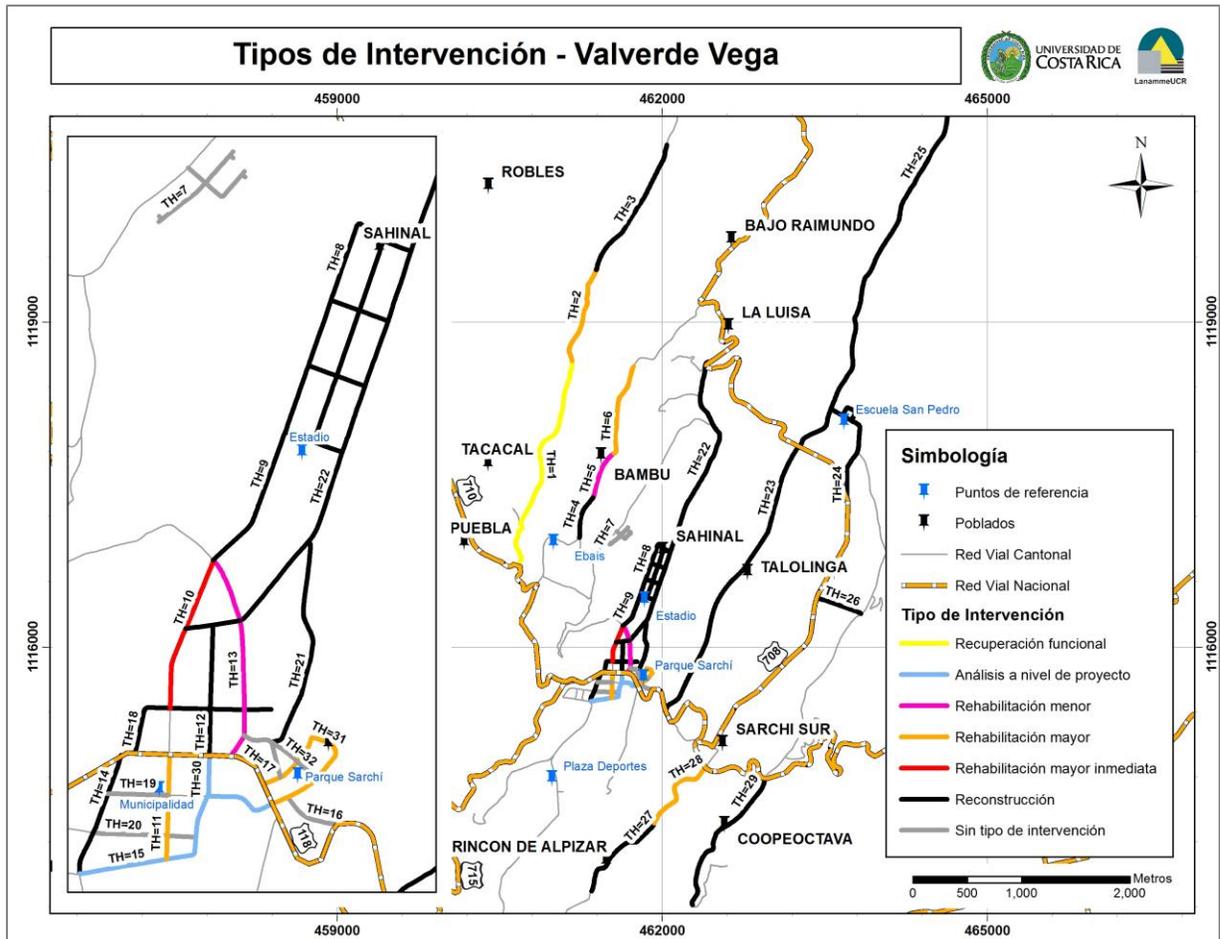


Figura 29. Tipo de intervención sugerido para cada tramo analizado

Fuente: Elaboración propia

Durante la visita de campo realizada el 26 de julio del 2018, fue posible corroborar que el tipo de intervención a nivel de red sugerida en este informe, coincide con lo observado en sitio.

Además, se determinó que algunos de los tramos en los que se recomienda la reconstrucción por su baja capacidad estructural, fueron intervenidos durante los últimos años con la colocación de una sobrecarpeta asfáltica, esto provee seguridad vial y confort a corto o mediano plazo. Sin embargo, no aportan en términos de la capacidad estructural que se

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 46 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

necesita, y por ende, existe una alta probabilidad que el tramo intervenido presente un deterioro acelerado.

Un ejemplo de lo anterior es el tramo 22, en donde se observó que el sector sur y central del tramo presentan deterioros importantes (Figura 30), mientras que en el sector norte del tramo se observó un mejor estado de superficie de ruedo debido a la colocación de una sobre capa asfáltica (Figura 31). No obstante, se constata en la evaluación realizada que su condición estructural no mejoró a pesar de la intervención, lo cual se evidencia en la Figura 18.



Figura 30. Sector sur y central del tramo 22

Fuente: Elaboración propia



Figura 31. Sector norte del tramo 22

Fuente: Elaboración propia

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 47 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

3.5 Diseño y Costos de los Tratamientos

En este informe se presentan los diferentes tipos de intervenciones que se debe realizar a nivel de red, considerando el estado actual en el que se encuentra cada uno de los tramos analizados. Posteriormente, se recomienda diseñar las intervenciones que requieren los tramos a nivel de proyecto, mediante el diseño de distintas “estructuras tipo” de la red vial cantonal de Valverde Vega. Con este fin, se debe obtener insumos de entrada para el diseño de las estructuras. Una forma es mediante el retrocálculo de módulos resilientes, con ello se estima el valor del módulo de cada una de las capas que conforman la estructura actual del pavimento; utilizando los datos de deflectometría de la evaluación y los espesores de las diferentes capas obtenidos de los sondeos a cielo abierto.

Los costos generales de cada tipo de tratamiento se obtienen realizando una investigación del costo que representa para la Municipalidad aplicar cada tipo de intervención. 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 Valverde Vega en un análisis a nivel estratégico. Por tanto, para presupuestar o definir con exactitud el costo específico de un proyecto, se deberá realizar un análisis y diseño formal.

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 48 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se realizaron 22 conteos vehiculares sobre la red vial cantonal de Valverde Vega, obteniendo un promedio del porcentaje de vehículos pesados de 5,2%, con el menor porcentaje de 2,8% y el mayor de 9,2%.

En cuanto al tránsito vehicular de las rutas, se determinó que el promedio de la cantidad de vehículos que transitan diariamente en los caminos analizados es de 1537 vehículos; en donde la ruta con menos tráfico vehicular registró un TPD de 561 vehículos, mientras que la ruta con más tráfico registró un TPD de 3637.

Se generaron 32 secciones de análisis para la localidad de Valverde Vega, los cuales tienen como objetivo definir unidades discretas para facilitar la gestión vial municipal en cuanto al mantenimiento y mejoramiento de la red.

De acuerdo con las pruebas y mediciones realizadas en 28,8 km en la red vial cantonal asfaltada de la Municipalidad de Valverde Vega durante el año 2018, solo un 7% de la longitud de tramos analizados, correspondientes a 2,1 km, poseen una buena condición estructural. En cambio, un 87% de la longitud de tramos analizados (25 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, ninguno de los tramos analizados presenta una buena condición funcional, únicamente se tiene que 1,9 km (7% de la longitud de tramos analizados) se encuentran en una condición regular con valores de IRI entre 3,6 y 6,4 m/km. Por otro lado, 25,7 km (89% de longitud evaluada) se encuentran en una condición de deterioro superficial avanzada, lo que implica mayores costos de operación (desgaste de llantas, combustible, etc.) para los usuarios y mayores tiempos de viaje. Asimismo, 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 Valverde Vega, se obtiene que, para las condiciones del pavimento, 3,2 km (11% de la red vial analizada) requiere

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 49 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

de una intervención mayor que proporcione el soporte requerido para resistir las cargas del tránsito con un nivel de servicio aceptable. Así mismo, 345 m requieren de una intervención mayor inmediata.

De las rutas evaluadas, 20,4 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 3 km requieren una recuperación de la condición funcional o rehabilitación menor. Finalmente, 640 m necesitan 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 (nivel de red), por lo que pueden ser utilizados como una herramienta de gestión por el municipio. Se recalca que es necesario realizar un diseño específico que considere los diferentes parámetros requeridos para un análisis a nivel de proyecto antes de la ejecución de la obra.

Estas intervenciones se proponen como soluciones óptimas generales a la condición de cada sección al realizar la evaluación. En otras palabras, si un tramo requiere reconstrucción, pero se aplica un bacheo o una rehabilitación, se solucionaría el problema temporalmente, sin embargo, a corto o mediano plazo presentará deficiencias nuevamente. Por lo que no se estarían invirtiendo eficientemente los recursos disponibles.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda intervenir tramos que se encuentren dentro de la categoría de rehabilitación mayor inmediata, para evitar tener que hacer mayores intervenciones en un corto plazo, ya que tramos con esta condición se deterioran con rapidez. Así, pasarían 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 recuperación funcional, con el propósito de evitar que la irregularidad de la superficie genere un daño en la capacidad estructural.

En la elaboración del Plan de Conservación, Desarrollo y Seguridad Vial Cantonal 2017-2021 fueron considerados diferentes escenarios de inversión, los cuales se desarrollaron acorde

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 50 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

con las políticas institucionales y el presupuesto disponible para la ejecución de proyectos de infraestructura vial. Dado que este informe brinda una evaluación actualizada del estado de la red vial del cantón, es importante que se analice la aplicabilidad o modificación de los escenarios de inversión planteados inicialmente. Esto debido a que gran cantidad de los caminos evaluados requieren alguna intervención de alto costo, tales como reconstrucción o rehabilitación mayor, lo cual podría generar cambios en el presupuesto asignado a cada uno de los escenarios planteados.

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, para realizar una gestión más eficiente y eficaz del mantenimiento y mejora de la red vial cantonal que administra.

-----UL-----

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 51 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------

5 REFERENCIAS

- Allen, J. (2008). *Informe LM-PI-GM-01-08: Proyecto de Gestión y Evaluación de la Red Vial Cantonal de la Municipalidad de Belén*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Allen, J., & López, S. (2009). *Informe LM-PI-PM-08-09: Desarrollo de un sistema para la conservación vial en la Municipalidad de La Unión*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Arias, E. (2012). *Informe LM-PI-GM-12-12 Evaluación de la red vial cantonal de Cañas: Diagnóstico y tramos homogéneos de la red vial cantonal de Cañas*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Arias, E., & Allen, J. (2014). *Informe LM-PI-GM-03-14: 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: LanammeUCR.
- Arias, E., Allen, J., & López, S. (2012). *Informe LM-PI-GM-08-12: Comparación de métodos de análisis: Notas de calidad (FWD-VIZIR), Notas de calidad (FWD-IRI) y PCI, para la escogencia de tipo intervención en las redes viales cantonales*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Badilla, G. (2009). Determinación de la regularidad superficial del pavimento mediante el cálculo del índice Regularidad Internacional (IRI): Aspectos y consideraciones importantes. *Infraestructura Vial*, 30-37.
- Barrantes, R., & Sibaja, D. P. (2008). *Informe UI-04-08: Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices de red vial nacional*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Barrantes, R., Badilla, G., Sibaja, D., & Porras, J. D. (2008). *Informe UI-PE-03-08: Variaciones a los rangos para la clasificación estructural de la red vial nacional de Costa Rica*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Haas, R., Hudson, R., & Zaniewski, J. (1993). *Modern Pavement Management*. Florida: Krieger Publishing Company.

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 52 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------



López, S. (2009). *Sistema Piloto de administración de pavimentos en la Municipalidad de Belén, Heredia. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Solminihač, H. (1998). *Gestión de Infraestructura Vial*. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

Xu, L., & Vargas, C. (2017). *Informe LM-PI-GM-INF-08-17: Evaluación de la Red Vial Cantonal de San Isidro de Heredia, Diagnóstico y Análisis por Secciones*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.

Informe LM-PI-GM-INF-02-18	Fecha de emisión: Noviembre, 2018	Página 53 de 53
----------------------------	-----------------------------------	-----------------