



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-15-14

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL: DIAGNÓSTICO Y ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN EN LA RED VIAL CANTONAL DE NANDAYURE

Preparado por:

Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica
Setiembre, 2014



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

Información técnica del documento

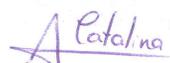
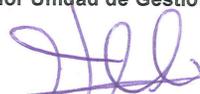
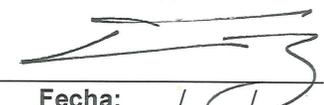
1. Informe LM-PI-GM-15-14		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE NANDAYURE: DIAGNÓSTICO Y ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN EN LA RVC DE NANDAYURE.		4. Fecha del Informe: Setiembre, 2014
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <i>Durante el mes de mayo del año 2012, se realizaron ensayos de IRI y Deflectometría en las principales rutas asfaltadas de la red vial cantonal de Nandayure, para conocer sus condiciones funcionales y estructurales, respectivamente. Por medio de este diagnóstico, se pretende determinar secciones de carretera que reúnen características estructurales similares, mediante el uso de tramos homogéneos como unidad de análisis.</i> <i>La red en estudio estuvo compuesta por 7,5 km, de los cuales el 51% presenta una "Buena" condición estructural, y 1,9 km fueron considerados como "Deficientes" para el soporte de las cargas aplicadas por los vehículos que transitan por la zona; y 1,7 km (equivalentes al 23%) se encontró en un estado "Regular".</i> <i>Con respecto a la condición funcional, se determinó que un 23% de la red vial analizada brindaba un nivel de servicio catalogado como "Malo" y para un 78% se determinó un IRI entre 3,6 y 6,4 m/km, correspondiente a una condición "Regular".</i> <i>Por lo tanto, se plantea que para mejorar la condición general de la red vial, es necesario que a 3,4 km se le apliquen técnicas de mantenimiento de preservación, mientras que otros 1,9 km sí requieren de una rehabilitación mayor. El 29% restante de la red estudiada, requiere ser intervenida principalmente mediante una recuperar la condición funcional o rehabilitaciones menores.</i> <i>Uno de los productos más importantes que se incluye en el análisis es la propuesta del tipo de intervención general (mantenimiento, refuerzo estructural o reconstrucción) basada en el estado al momento de realizarse las evaluaciones de cada uno de los tramos homogéneos. La información contenida en este informe es una herramienta útil para una eficiente y eficaz gestión de los recursos que dispone el municipio para el mantenimiento y la mejora de la red vial que administra.</i>		
10. Palabras clave Evaluación, gestión, cantonal, Nandayure, tramos, homogéneos	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 44
13. Preparado por: Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 1 / 9 / 2014		14. Revisado por: Ing. Ana Catalina Vargas Sobrado Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 28 / 08 / 2014
14. Revisado por: Ing. Josué Quesada Campos Unidad de Gestión Municipal Encargado Convenio  Fecha: 1 / 9 / 14		
14. Revisado por: Carlos Campos Cruz, Mba Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 11 / 9 / 14	15. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Lanammé UCR  Fecha: 1 / 1	16. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 1 / 1



TABLA DE CONTENIDO

1 ANTECEDENTES	6
1.1 Asesoría técnica	6
1.2 Capacitación	7
1.3 Recursos financieros	7
1.4 Reglamento al artículo 5 inciso b) de la Ley 8114: Reglamento sobre el Manejo, Normalización y Responsabilidad para la Inversión Pública en la Red Vial Cantonal	7
2 PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL	8
2.1 Importancia	8
2.2 Sistema de administración de pavimentos (SAP)	8
2.3 Proceso de Gestión de Infraestructura Vial Municipal	11
2.4 Esquema Metodológico	12
3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE NANDAYURE	13
3.1 Objetivo	13
3.2 Actividades	13
3.2.1 Tránsito vehicular diario	14
3.2.2 Identificar condición funcional	17
3.2.3 Identificar condición estructural	21
3.2.4 Definir tramos homogéneos	24
3.2.5 Notas de Calidad	28
3.3 Tipos de intervención	35
3.4 Diseño y Costos de los Tratamientos	39
3.5 Escenarios de inversión	40
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
5 REFERENCIAS	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Longitud de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Nandayure.....	24
Tabla 2. Notas de calidad para un tránsito inferior a los 5000 vehículos diarios para una estructura con base granular.	29
Tabla 3. Notas de calidad para un tránsito superior a los 5000 vehículos diarios e inferior a 15000 vehículos diarios para una estructura con base granular.....	29
Tabla 4. Nota de calidad asignada a cada de tramo analizado en la localidad de Nandayure.	33
Tabla 5. Tipo de intervención requerida a nivel de red para cada tramo evaluado.....	37





INDICE 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. Mangueras y contadores automáticos en sitio.....	15
Figura 5. Configuración de los contadores.....	15
Figura 6. Ubicación de los conteos en la localidad de Nandayure.....	16
Figura 7. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Nandayure.....	17
Figura 8. Representación física del Índice de Regularidad Internacional.....	18
Figura 9. Perfilómetro Inercial Láser.....	19
Figura 10. Condición del IRI para las mediciones realizadas en Nandayure.....	20
Figura 11. Distribución porcentual de la condición según el IRI.....	21
Figura 12. Equipo de deflectometría de impacto.....	21
Figura 13. Condición del pavimento para una estructura con base granular.....	22
Figura 14. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Nandayure.....	23
Figura 15. Distribución porcentual de la condición según FWD.....	23
Figura 16. Ubicación de diferentes tramos homogéneos en Nandayure.....	25
Figura 17. Deflectometría promedio de las vías analizadas en Nandayure.....	26
Figura 18. Porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el FWD promedio.....	26
Figura 19. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio.....	26
Figura 20. IRI promedio para las vías analizadas en Nandayure.....	27
Figura 21. Porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el IRI promedio.....	28
Figura 22. Porcentaje de metros clasificados según el IRI promedio.....	28
Figura 23. Distribución de las diferentes notas de calidad asignadas.....	34
Figura 24. Notas de Calidad para tramos homogéneos de Nandayure.....	34
Figura 25. Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad.....	37
Figura 26. Distribución porcentual de los tipos de intervención para la red vial.....	38
Figura 27. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo.....	39



1 ANTECEDENTES

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

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

La Municipalidad de Nandayure solicitó el apoyo del LanammeUCR para realizar una evaluación de la condición de la Red Vial Cantonal con el propósito de obtener información técnica a emplear en la elaboración del Plan Quinquenal de Conservación de la Red Vial Cantonal.

Con el propósito de unir esfuerzos para lograr objetivos comunes, la Municipalidad de Nandayure y la Universidad de Costa Rica firmaron un Convenio Marco, que presenta las siguientes actividades principales.

1.1 Asesoría técnica

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

1. Evaluar la operación y uso de la red vial cantonal del casco central del cantón de Nandayure.
2. Evaluar la condición superficial y estructural de los pavimentos existentes.
3. Desarrollar e implementar una metodología para clasificar y priorizar la RVC.
4. Definir políticas y normas de ejecución para conservar la RVC.
5. Definir y diseñar las intervenciones técnicas de los proyectos a ejecutar.
6. Elaborar un plan de inversiones para implementar el plan de conservación.



7. Definir indicadores de evaluación del cumplimiento del plan de conservación.

1.2 Capacitación

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

1.3 Recursos financieros

La Municipalidad asignará un monto específico de recursos monetarios para realizar sondeos y ensayos de laboratorio y campo.

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

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

Este reglamento regula el uso de los fondos asignados por la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria en cuanto a la inversión pública en la red vial cantonal. El reglamento establece las distintas funciones que debe desempeñar la Unidad Técnica de Gestión Vial Cantonal (UTGVC), siendo una de estas la elaboración y ejecución de los planes y programas de conservación y de desarrollo vial, dichos planes deben considerar criterios técnicos para priorizar los caminos a intervenir.

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



2 PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL

2.1 Importancia

La infraestructura vial está conformada por todos aquellos elementos que facilitan el desplazamiento de los vehículos de un punto a otro de una manera segura y comfortable. Entre los elementos que la conforman se encuentran: los pavimentos, puentes, la señalización vertical y horizontal, taludes, terraplenes, dispositivos de seguridad tales como barreras de contención, drenajes, espaldón, entre otros. Todos estos elementos conforman la red vial, la cual debe ser capaz de permitir un servicio de transporte con un nivel adecuado, eficiente y eficaz para sus usuarios.

Un sistema de administración de infraestructura vial contempla la administración adecuada de los recursos económicos y humanos disponibles, de manera que estos sean optimizados para conservar y rehabilitar cada uno de sus componentes, procurando que funcionen como un conjunto armónico en función del usuario, lo cual propicia el desarrollo económico y social de la región en la que se encuentra.

La conservación de las vías se enfoca en dos objetivos fundamentales. El primero de ellos se relaciona con el servicio que se le brinda a los usuarios de la red, brindando una circulación comfortable, segura y fluida, disminuyendo con esto los costos de transporte, así como los tiempos de viaje. Por otro lado la conservación y mejoramiento del patrimonio vial que forma parte de los activos públicos del Estado.

La importancia del tema se enfoca en maximizar los beneficios obtenidos al invertir en la red cantonal de la Municipalidad de Nandayure, proporcionando políticas de inversión para la rehabilitación y el mantenimiento de sus rutas basándose en fundamentos técnicos, de manera que se dé una recuperación sostenible a mediano plazo.

2.2 Sistema de administración de pavimentos (SAP)

Parte fundamental de un sistema de administración de infraestructura son los pavimentos, pues es sobre su capa de rodadura donde diversos medios de transporte se desplazan. A los pavimentos se les asocia la mayor parte de los costos de usuario y es uno de los elementos de la infraestructura que más recursos económicos y financieros demandan para su construcción, así como para su mantenimiento o rehabilitación. De manera general, los

pavimentos y carreteras deben ofrecer comodidad de viaje a los vehículos, economía en su operación y seguridad ante accidentes, para lo cual la municipalidad debe establecer planes y desarrollar proyectos de conservación y mejoramiento de sus vías de forma preventiva y garantizando un nivel de servicio adecuado de forma continúa.

A través de la aplicación del SAP se disminuye la incertidumbre de la inversión, ya que las decisiones se basan en estudios técnicos que permiten guiar de una mejor manera las inversiones, con el fin de dar un mejor aprovechamiento y rentabilidad de los recursos disponibles.

Un sistema de gestión de pavimentos presenta una estructura general que se compone por cinco etapas bien definidas: planificación, diseño, construcción, mantenimiento y evaluación, las cuales son descritas en la figura 1.



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

Fuente: Modificado de Haas, 1993.



La gestión de pavimentos debe ser fácil de utilizar por el organismo a cargo de la conservación de caminos y contribuir a la toma de decisiones respecto de los proyectos individuales.

Por otra parte, la utilización de un adecuado sistema de gestión sobre los caminos permitirá obtener el óptimo rendimiento de los recursos invertidos, valorando para tal efecto los diversos costos involucrados. Para aplicar de manera eficaz un sistema de gestión es necesario que el mismo cuente con ciertos requerimientos esenciales:

- Ser fácil de utilizar y que tenga la capacidad de agregar, actualizar y modificar el sistema con nueva información.
- Capacidad de considerar estrategias alternativas dentro de la evaluación.
- Capacidad de identificar la estrategia o alternativa óptima.
- Capacidad de basar sus decisiones en procedimientos racionales, con atributos, criterios y restricciones cuantificables.
- Capacidad de utilizar la información para la retroalimentación del sistema y llevar un control del cambio en las condiciones de la red.

Los pavimentos son estructuras complejas que se ven afectadas por diferentes variables: frecuencia (cantidad de vehículos que circulan en un periodo de tiempo determinado) y peso de vehículos que soportan, solicitaciones de medio ambiente, materiales usados y formas de construcción, mantenimiento, etc. Es importante entender claramente los factores técnicos y económicos que involucran su construcción, explotación y manutención con el fin de poder hacer una apropiada gestión de pavimentos.

El crecimiento de la población, el aumento de la cantidad de vehículos y el incremento de actividad económica generan mayores cantidades de vehículos y camiones viajando por las carreteras, lo cual impone mayores pesos y cargas sobre las estructuras de pavimentos, por lo que la generación y aplicación del SAP se torna cada vez más importante. Cabe destacar que el SAP no debe limitarse solamente a la conservación vial, sino que hay que definir proyectos de mejoramiento, refuerzo, rehabilitación y ampliación de carreteras.

El comienzo de una gestión integral de los elementos de la infraestructura vial puede iniciar con un elemento fundamental y de particular importancia, en este caso en particular: el pavimento, pero en forma progresiva deben aplicarse herramientas que permitan gestionar la

conservación e incorporar los demás elementos (Ej. alcantarillado, puentes, señalización, etc.) que proveen al usuario de una operación segura y de bajo costo (De Solminihaç, 1998).

2.3 Proceso de Gestión de Infraestructura Vial Municipal

Para establecer un sistema de gestión vial es necesario delimitar todas sus fases y destacar de manera adecuada los productos asociados a cada una de ellas, la figura 2 muestra el flujograma para el proceso de gestión vial en el ámbito municipal.

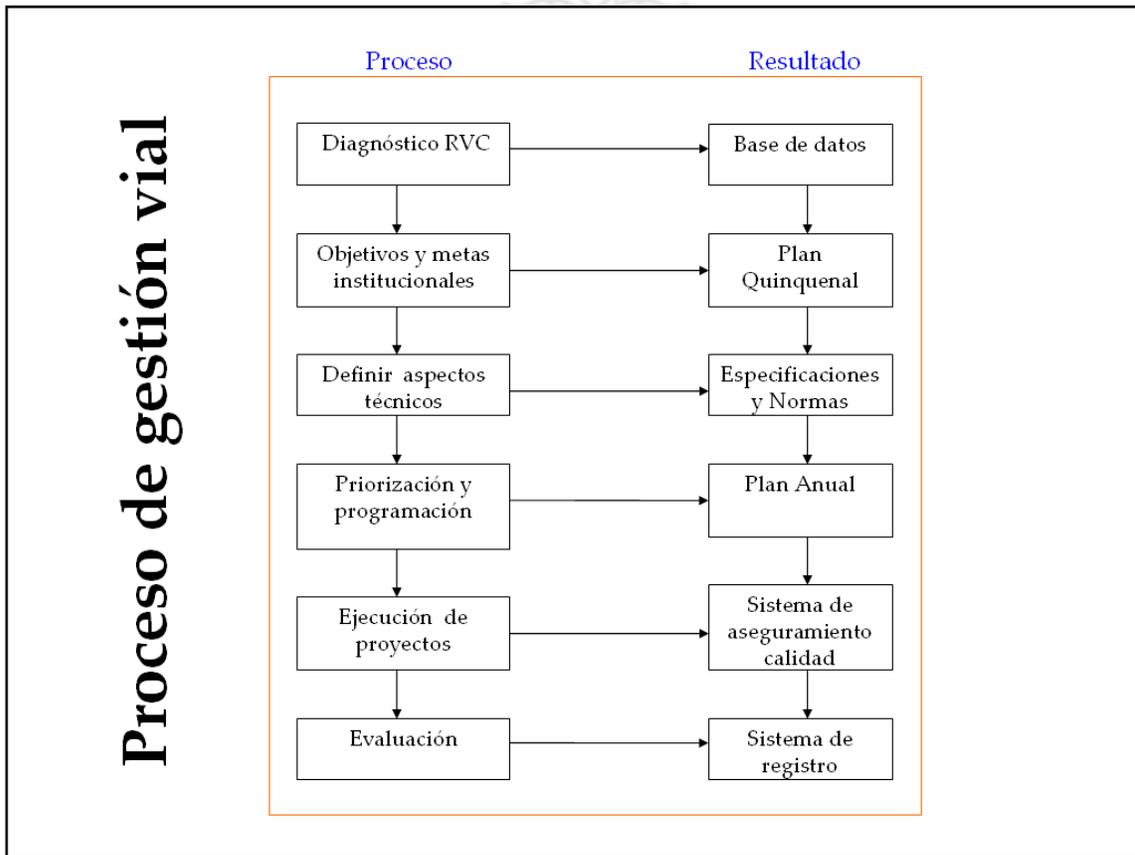


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Se elabora el diagnóstico de la red vial cantonal (RVC), el producto principal es la base de datos del diagnóstico, lo que permite determinar el estado actual de la red, insumo necesario para establecer políticas de priorización y planes de conservación y rehabilitación de las vías del cantón.

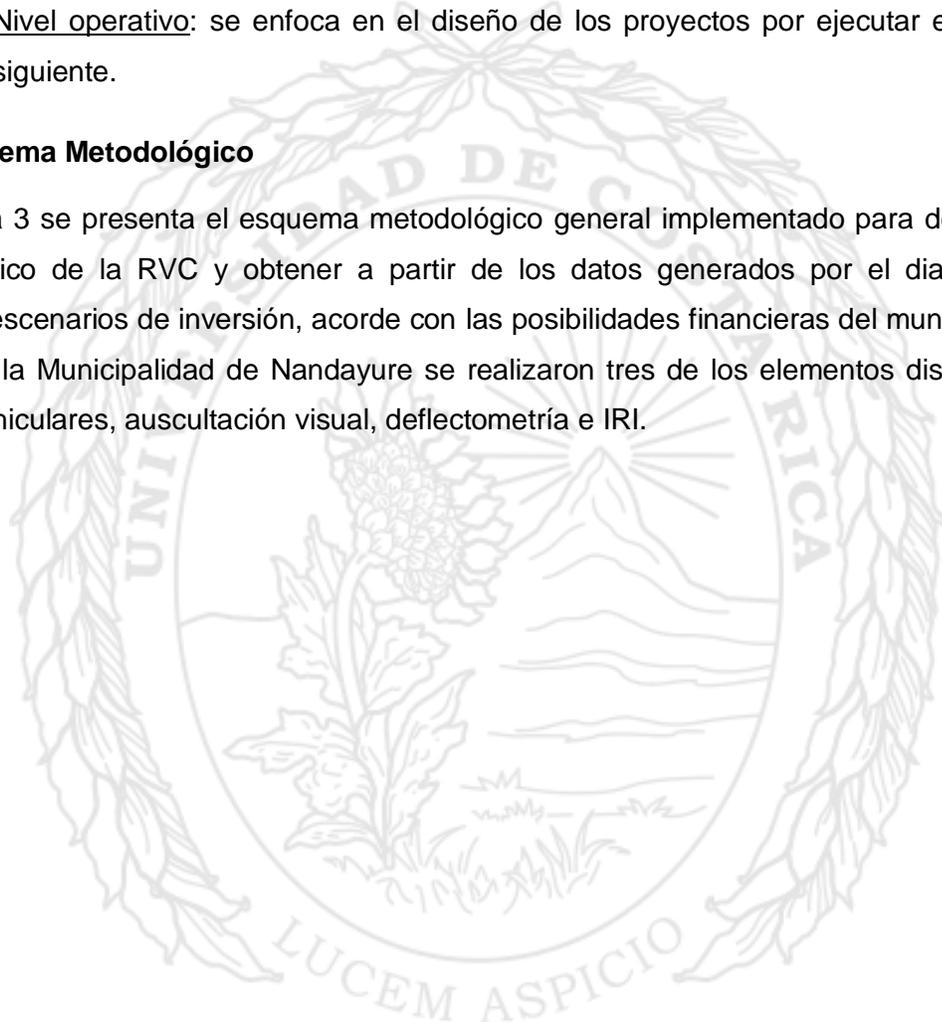


En los sistemas de gestión de infraestructura vial, también conocidos como sistemas de administración de pavimentos, funcionan distintos niveles dependiendo del detalle:

- Nivel estratégico: planes globales a realizarse a largo plazo (20 años). Permiten maximizar los recursos.
- Nivel táctico: planes que priorizan los proyectos por realizar a mediano plazo (4 ó 5 años).
- Nivel operativo: se enfoca en el diseño de los proyectos por ejecutar en el año siguiente.

2.4 Esquema Metodológico

En la figura 3 se presenta el esquema metodológico general implementado para desarrollar el diagnóstico de la RVC y obtener a partir de los datos generados por el diagnóstico, diferentes escenarios de inversión, acorde con las posibilidades financieras del municipio. En el caso de la Municipalidad de Nandayure se realizaron tres de los elementos disponibles: conteos vehiculares, auscultación visual, deflectometría e IRI.



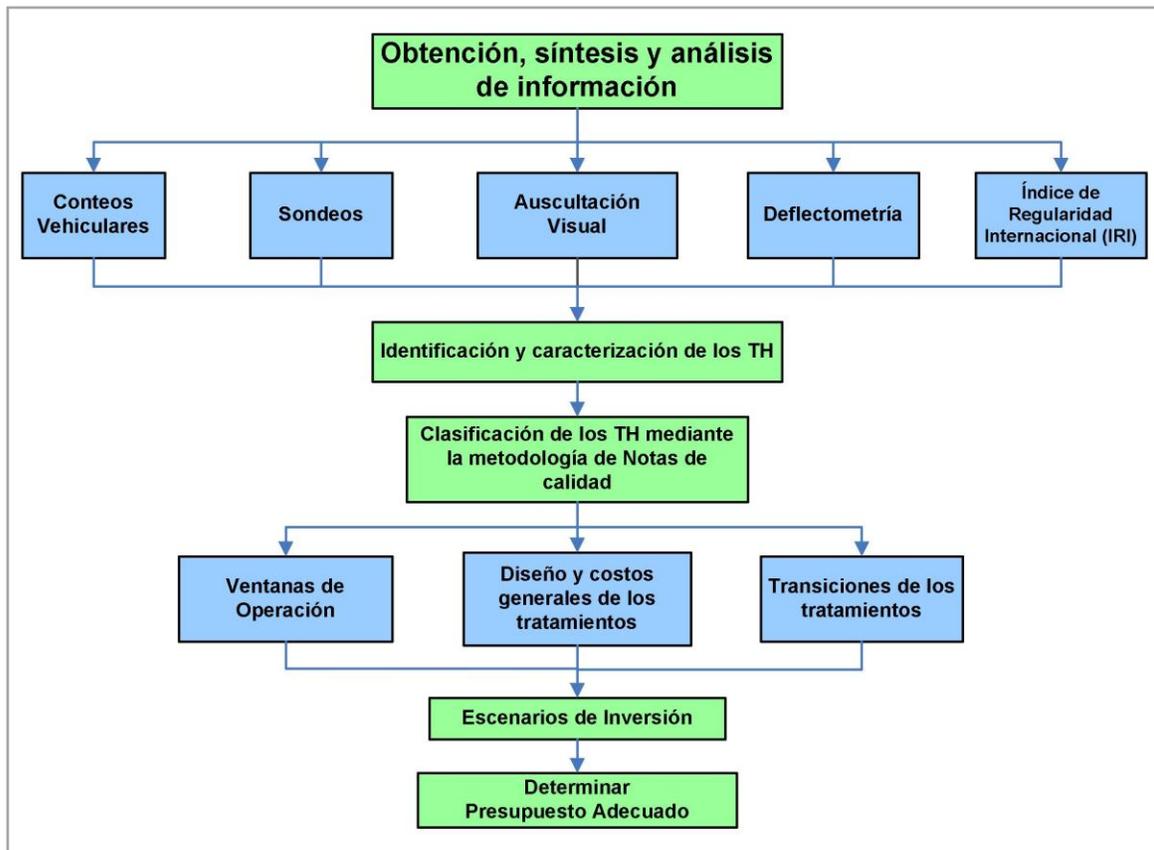


Figura 3. Esquema metodológico.

3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE NANDAYURE

3.1 Objetivo

Realizar una evaluación en la RVC de Nandayure, con el fin de obtener una base de datos con diferentes características técnicas de la infraestructura vial de la red.

3.2 Actividades

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

1. Determinar tránsito (TPD) y clasificación vehicular.
2. Identificar condición funcional.
3. Identificar condición estructural.



4. Caracterizar la estructura del pavimento.
5. Definir tramos homogéneos.

3.2.1 *Tránsito vehicular diario*

Para el planeamiento de la inversión a realizar sobre las diferentes vías es fundamental conocer las principales características del tránsito, tanto en cantidad como tipo de vehículos que circulan sobre la red vial cantonal. Datos actualizados del tráfico permiten establecer la demanda vehicular de las diferentes rutas, la cual está estrechamente relacionada con el diseño de la estructura del pavimento necesaria o con la aplicación de medidas correctoras para aplicar refuerzo o mantenimiento oportuno. Por esta razón se recomienda medir el tránsito al menos cada año en puntos estratégicos de la red, para una adecuada gestión vial.

Para determinar el TPD se realizaron conteos vehiculares que permiten conocer la cantidad y tipos de vehículos que transitan por la RVC. La UTGV de la Municipalidad de Nandayure fue responsable de realizar estos conteos, los cuales suministran información indispensable para la realización de un correcto diagnóstico de la red vial.

Los conteos vehiculares se deben realizar sobre sitios representativos de la red vial, principalmente sobre los puntos de mayor tránsito en la zona de estudio.

Los conteos vehiculares se realizaron por parte del personal de la UTGV de Nandayure utilizando un contador neumático, facilitado por el LanammeUCR, después de recibir la respectiva capacitación. Algunos aspectos que se deben considerar al realizar conteos de tránsito son:

- Realizar los conteos durante períodos de tránsito normal, nunca en vacaciones o feriados.
- Deben realizarse en días laborales (lunes a 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 en los conteos, y facilitar el análisis para cálculos del TPDA (Tránsito promedio diario anual).
- Escoger los sitios de mayor flujo vehicular de la calle o tramo a evaluar.

El volumen y tipo de tránsito cambian continuamente; por lo tanto, los conteos se deben actualizar periódicamente, preferiblemente cada año o máximo cada dos años. Además de que esto permite identificar la tasa de cambio del tránsito vehicular para la red.

Se presentan dos figuras de los contadores automáticos colocados en las vías, y las configuraciones recomendadas en campo para la clasificación vehicular (ver figura 4 y figura 5).



Figura 4. Mangueras y contadores automáticos en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

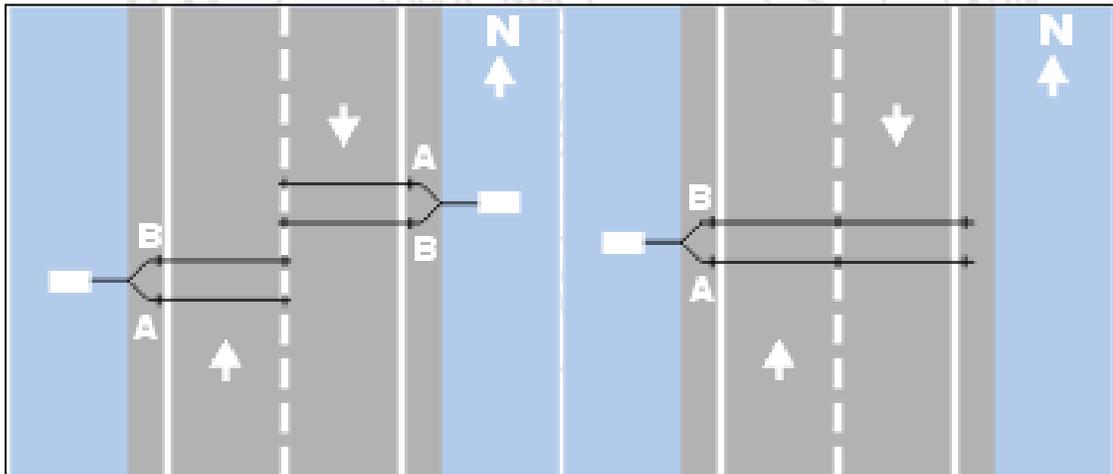


Figura 5. Configuración de los contadores.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

La configuración de la izquierda en la figura 5, muestra la disposición ideal, el de la derecha muestra una configuración más simple pero que resulta en pérdida de precisión.

Durante el año 2012, la Municipalidad de Nandayure realizó conteos vehiculares en algunas de las calles evaluadas, de los cuales 12 fueron utilizados en este informe para caracterizar la flota vehicular que transita por la zona, y con esto conocer el tipo de cargas a las cuales está sometida la estructura de pavimento. En la figura 6, se muestra la ubicación exacta de los conteos en las zonas de Carmona, Santa Rita y Cacao, así como también se especifica el tránsito promedio diario anual calculado para cada uno de ellos.

Es importante mencionar que el conteo 3 se realizó sobre una carretera de la Red Vial Nacional, sin embargo, todos los conteos presentan un TPD menor a 5 000 vehículos, lo cual es de interés para determinar la capacidad estructural de la red vial en estudio.

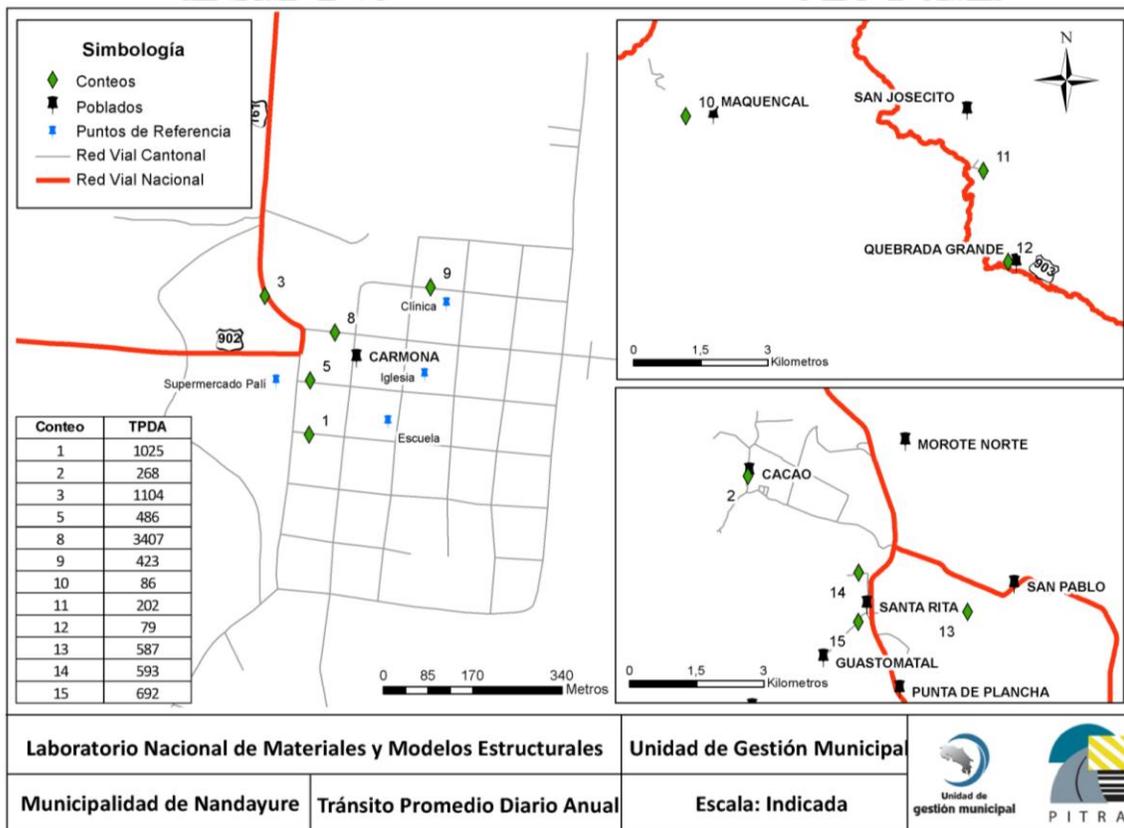


Figura 6. Ubicación de los conteos en la localidad de Nandayure.

Fuente: LanammeUCR, 2014 (Información recopilada por UTGV-Nandayure).

Por medio de los conteos vehiculares, también es importante determinar la cantidad de vehículos pesados que transitan por las calles incluidas en el convenio, pues los vehículos pesados son los que ejercen un mayor desgaste del pavimento.

En la figura 7 se presenta el porcentaje de vehículos pesados que transitan sobre diferentes vías de la localidad de Nandayure, el cual en promedio corresponde a un valor de 8,6%, con valores mínimos y máximos de 1% y 21%, respectivamente.

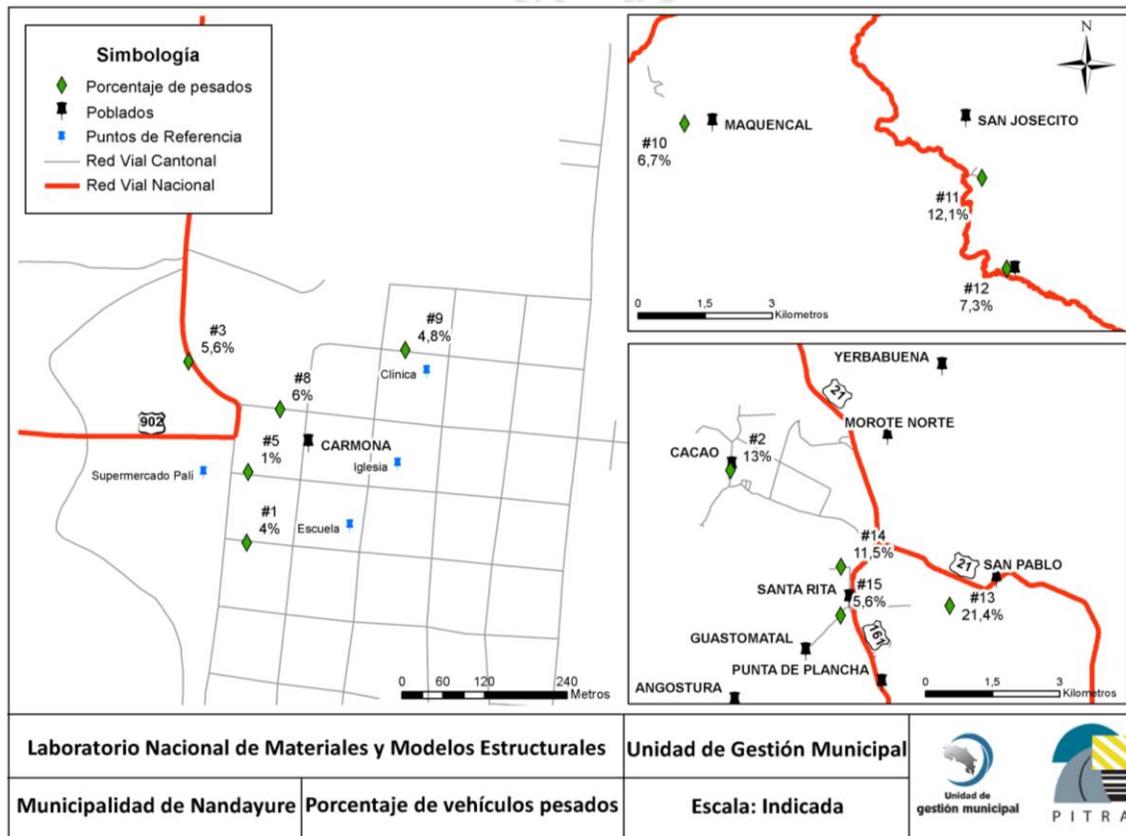


Figura 7. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Nandayure.

Fuente: LanammeUCR, 2014 (Información recopilada por UTGV-Nandayure).

3.2.2 Identificar condición funcional

La condición funcional de una carretera corresponde a la habilidad 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 para la gestión de pavimentos; éste se encuentra relacionado con los costos de operación de los vehículos y la vida útil de los pavimentos.

El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la regularidad de un camino en un auto 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 rugosidad aumenta, como se representa en la figura 8.

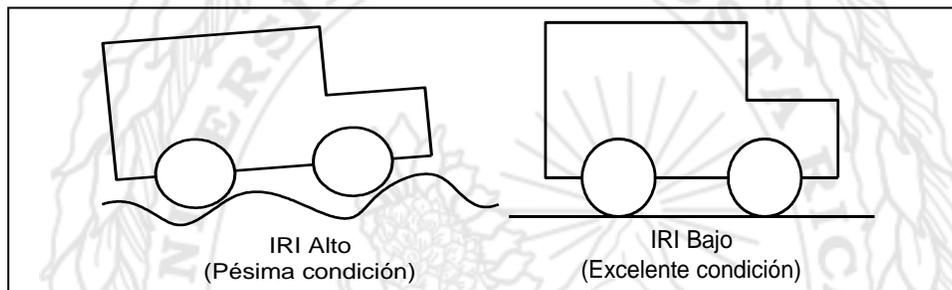


Figura 8. Representación física del Índice de Regularidad Internacional.

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 para la medición del IRI 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 y velocidad del vehículo, temperatura, color y textura del pavimento.

El equipo Perfilómetro Inercial Láser, propiedad del LanammeUCR, mide la distancia del suelo al vehículo con un medidor láser ubicado en la parte de adelante del vehículo, como se muestra en el esquema del funcionamiento del equipo de la figura 9.

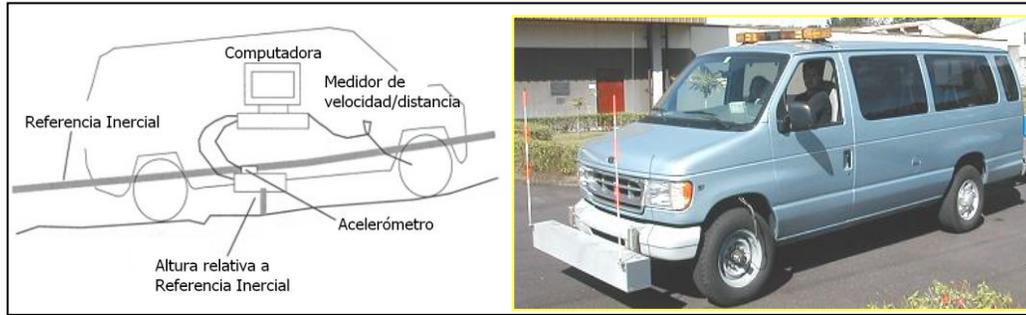


Figura 9. Perfilómetro Inercial Láser.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El IRI se calculó sobre la red vial pavimentada cada 25 metros por medio del Perfilómetro Inercial Láser del LanammeUCR, en el mes de mayo del año 2012 abarcando todas las rutas contempladas en el convenio; es decir, se cubrió una longitud aproximada de 7,5 km.

En la figura 10 se muestran gráficamente los resultados de estas mediciones, las cuales se clasificaron en función de la calidad funcional que poseen mediante la siguiente simbología: “Bueno” corresponde a un IRI menor a 3,6 m/km; una condición “Regular” implica valores entre 3,6 m/km y 6,4 m/km; “Malo” valores entre 6,4 m/km y 10 m/km y “Muy malo” para un IRI mayor a 10 m/km.

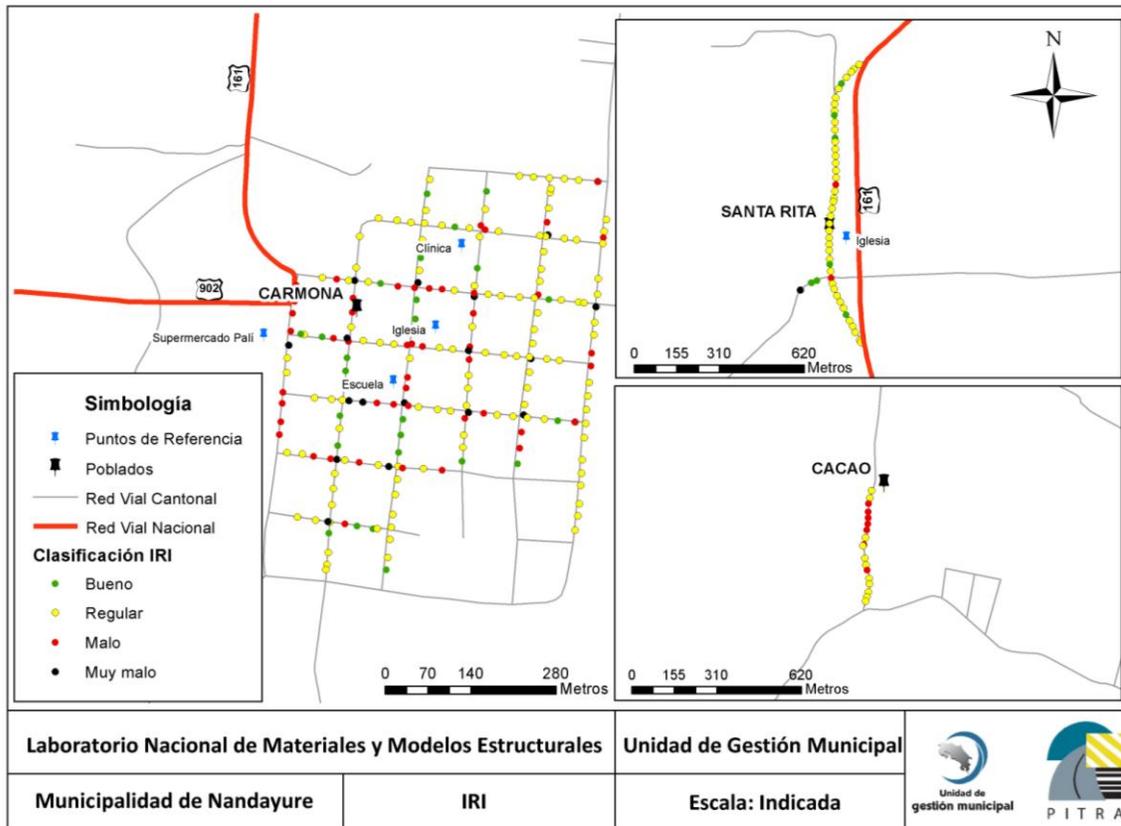


Figura 10. Condición del IRI para las mediciones realizadas en Nandayure.

En la figura 11 se presenta la distribución porcentual de cada una de las mediciones de IRI en las 4 categorías previamente definidas (Bueno, Regular, Malo y Muy malo), y se muestra que un 61% de las mediciones se encuentran en una condición regular, mientras que un 27% se encuentran con valores mayores a 3,6 m/km, lo cual implica una superficie de ruedo con bajo nivel de confort y con altos gastos de operación para los vehículos que la transitan. Únicamente 12% de las mediciones presenta una buena condición funcional.

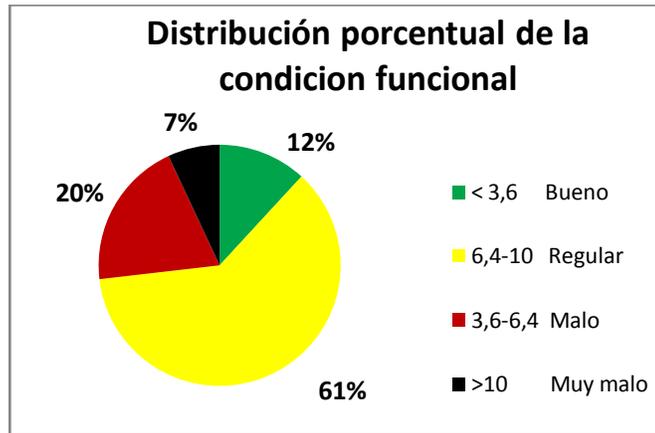


Figura 11. Distribución porcentual de la condición según el IRI.

3.2.3 Identificar condición estructural

En esta sección se mencionan los procedimientos necesarios para determinar la capacidad estructural de un pavimento, la cual está directamente relacionada con la respuesta ante las cargas a las que se ve expuesto el pavimento; es decir, menores deflexiones implican mayor capacidad del pavimento para soportar las cargas del tránsito.

Estas mediciones se realizaron con el equipo Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés) cada 50 metros a lo largo de la red considerada en el convenio, durante el mes de mayo del 2012. El procedimiento consiste en dejar caer una carga de impacto estándar sobre el pavimento y medir las deflexiones en nueve puntos, con diferentes distancias respecto al punto donde se aplicó la carga. A continuación se muestran dos figuras con el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.

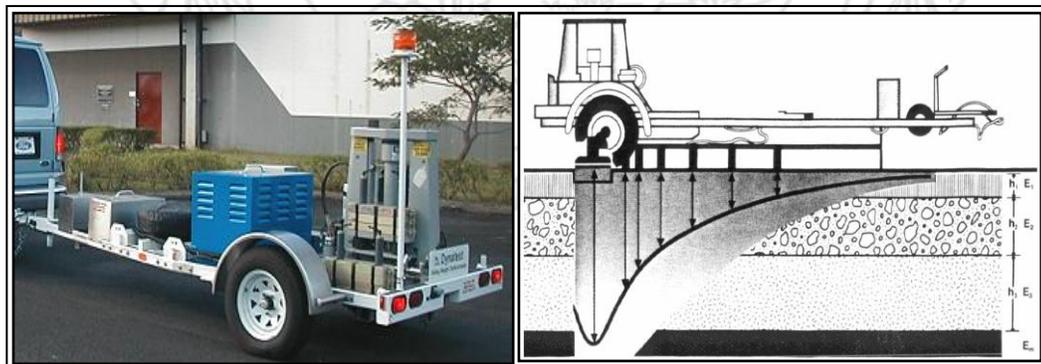


Figura 12. Equipo de deflectometría de impacto.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Al igual que para la clasificación del estado de una vía según los valores de IRI, la clasificación utilizada para categorizar los resultados obtenidos de deflectometría son tomados a partir de un estudio realizado por LanammeUCR, en el cual se determinaron rangos para las diferentes deflexiones asociadas a distintas categorías de TPD y dependientes del tipo de base (granular o estabilizada con cemento) que compone la estructura del pavimento. En la figura 13 se presenta la clasificación de deflectometría para una estructura de pavimento con base granular.

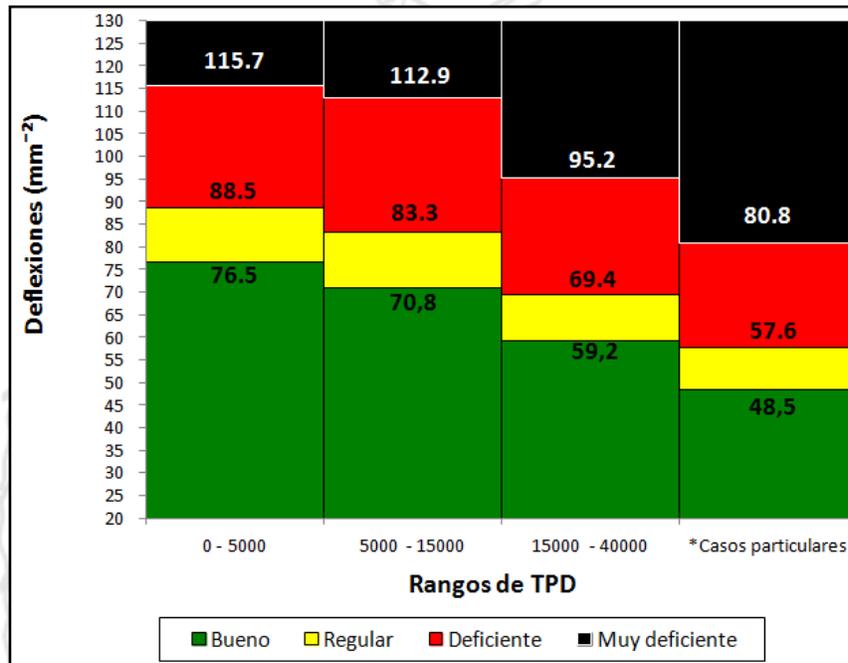


Figura 13. Condición del pavimento para una estructura con base granular.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El análisis de la condición estructural de la red de carreteras evaluadas se realizó en las zonas de Carmona, Santa Rita y Cacao (como se muestra en la figura 14). En la zona de Santa Rita es donde se registraron las mayores deflexiones, mientras que en la localidad de Carmona hubo únicamente 7 mediciones puntuales con valores considerados en condición "Muy deficiente".

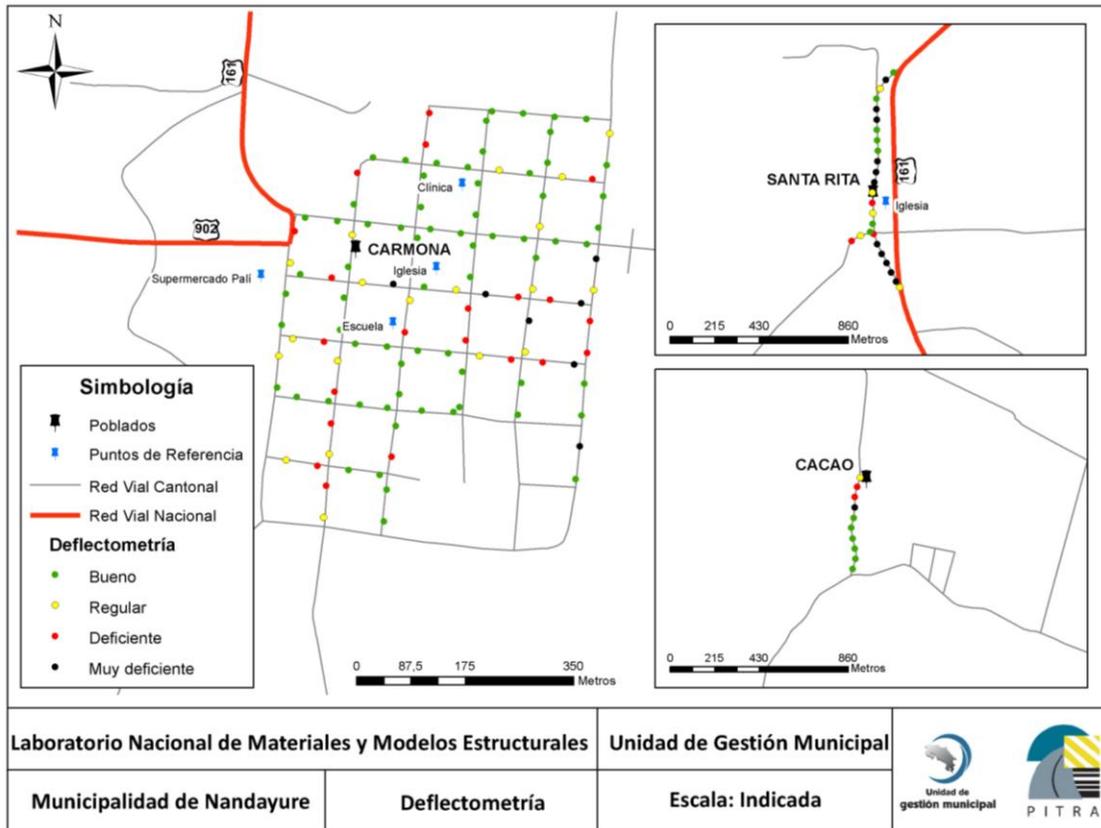


Figura 14. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Nandayure.

Además, de acuerdo con el gráfico de la figura 15 se muestra que el 54% de las mediciones indican una buena condición estructural, es decir, que han soportado adecuadamente las cargas que le generan los vehículos. Un 30% de las mediciones corresponden a valores mayores a $88,5 \text{ mm}^{-2}$, por lo que se determina que el desempeño de la estructura de pavimento es deficiente.

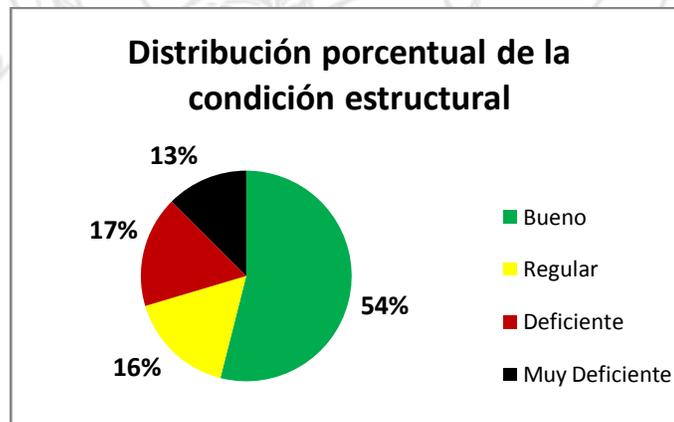


Figura 15. Distribución porcentual de la condición según FWD.

3.2.4 Definir tramos homogéneos

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

Se consideraron los siguientes criterios para determinar los tramos homogéneos, los mismos se basaron en los valores de las deflexiones obtenidas en la evaluación de la red vial.

- La longitud mínima de cada tramo es de 300 m.
- Los tramos con una relación de la desviación estándar y la media (s/m) mayor que 0,45 se considerará como tramo no uniforme.

Los tramos homogéneos finales se obtuvieron por medio del método de diferencias acumuladas establecido por el AASHTO 93, a partir de la información de deflectometría. Existen vías con relaciones entre la desviación estándar y la media superiores a 0,45; esto con el fin de no seccionar más el tramo homogéneo determinado y tratar de mantener tramos con una longitud mínima de 300 m, siempre que sea posible.

En el estudio realizado para la Municipalidad de Nandayure se obtuvo 17 tramos homogéneos a partir de aproximadamente 7,5 km evaluados; a continuación se tabula el número de tramo y la longitud aproximada en metros para los tramos ubicados en la zona; además, en la figura 16 se muestra su ubicación en la red vial cantonal.

Tabla 1. Longitud de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Nandayure.

TH	Longitud (m)	TH	Longitud (m)
1	1152	10	491
2	594	11	591
3	497	12	494
4	297	13	404
5	696	14	198
6	598	15	288
7	295	16	118
8	196	17	199
9	385		

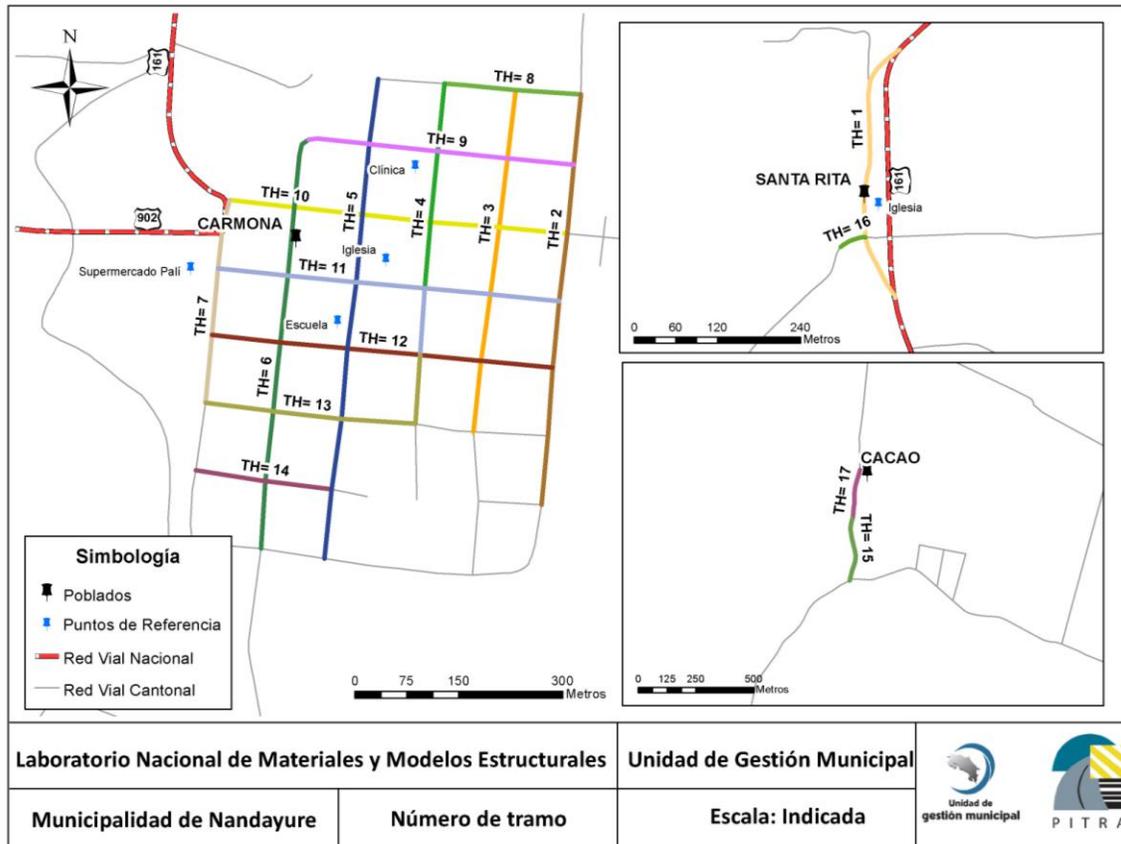


Figura 16. Ubicación de diferentes tramos homogéneos en Nandayure .

Es importante aclarar que los valores promedio asociados a cada tramo ofrecen una idea de la condición general del mismo, ya que a cada tramo se le asocia cierta dispersión producto de la variabilidad de la evaluación del IRI o la deflectometría.

3.2.4.1 Deflexión Promedio

Para categorizar el estado estructural de cada tramo homogéneo también se utiliza la clasificación que se presenta en la figura 13, donde se consideran diferentes intervalos para clasificar la deflectometría según el TPD de las vías y el tipo de estructura (pavimento con base granular o estabilizada).

En la figura 17 se muestra de manera gráfica la caracterización de la red evaluada, según los valores promedio de las deflexiones.

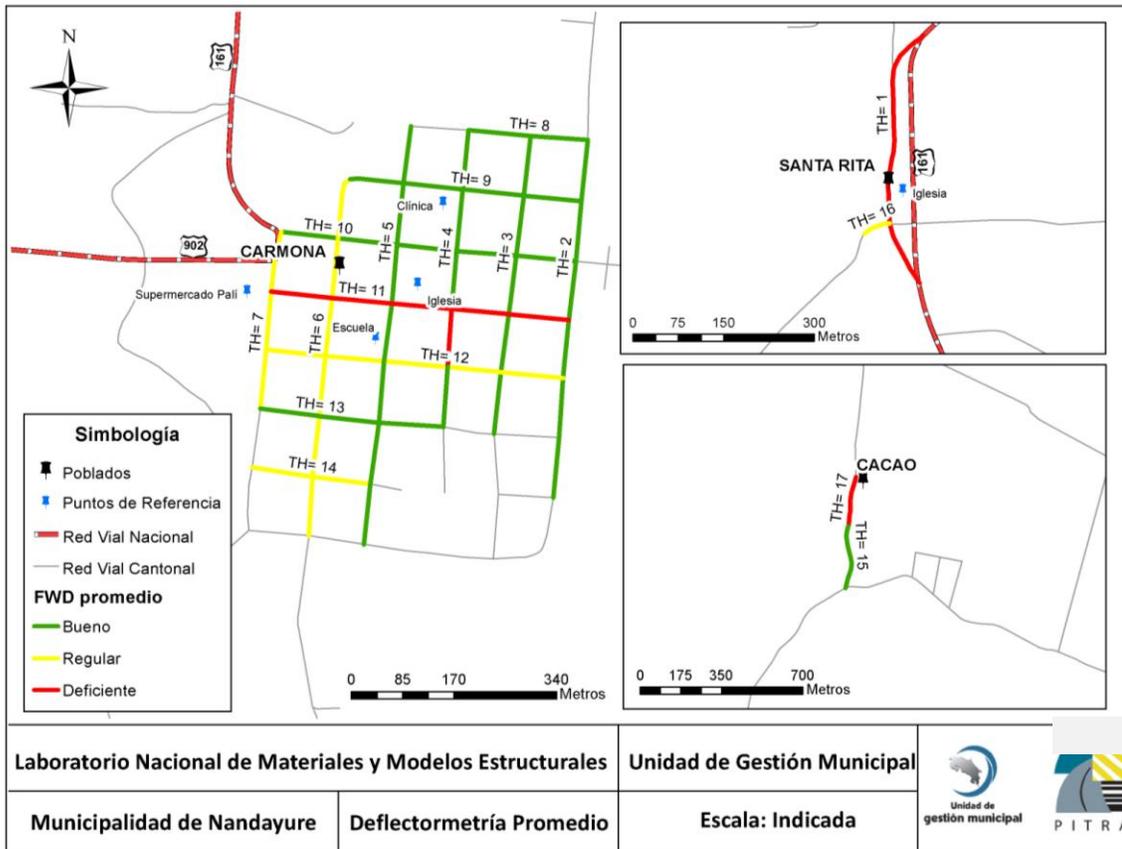


Figura 17. Deflectometría promedio de las vías analizadas en Nandayure.

Para cada categoría de condición estructural se realiza un análisis en el que se determinan la cantidad de metros lineales y la cantidad de tramos homogéneos asociados, los cuales se sintetizan en la figura 18 y figura 19.

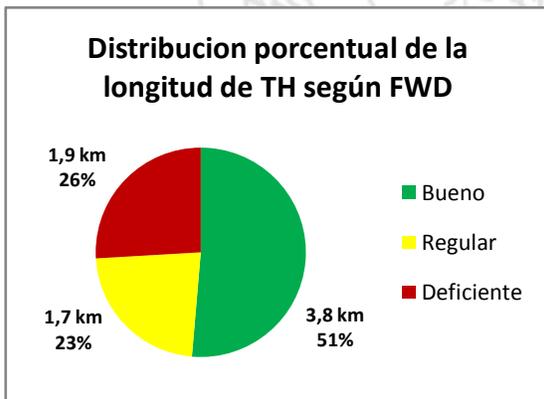


Figura 19. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio.

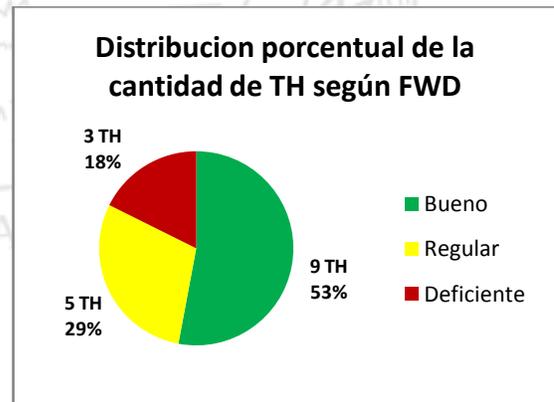


Figura 18. Porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el FWD promedio.

En las figuras anteriores es posible observar que no existen tramos homogéneos catalogados como "Muy deficientes" que corresponden a la peor condición estructural que podrían tener, por el contrario, un 51% de la red vial analizada se encuentra en buena condición estructural, lo que equivalente a 9 tramos homogéneos. Tres tramos con 1,9 km en total, presentan deflexiones entre $88,5 \text{ mm}^{-2}$ y $115,7 \text{ mm}^{-2}$, y el 29% de los tramos realizados presentan una condición "Regular".

3.2.4.2 *IRI promedio*

De la misma forma como se clasificó el IRI en la sección 3.2.2.1, se realiza una caracterización mediante los valores promedio de cada tramo (IRI_{promedio}) con el fin de identificar la variación en el tramo y el valor más representativo del mismo. El análisis por IRI_{promedio} indica que no existen tramos homogéneos con "Buena" ni "Muy mala" condición funcional, ya que los valores promedio se encuentran entre los 3,6 y 10 m/km. En la figura 20 es posible visualizar la condición de IRI promedio para los diferentes tramos.

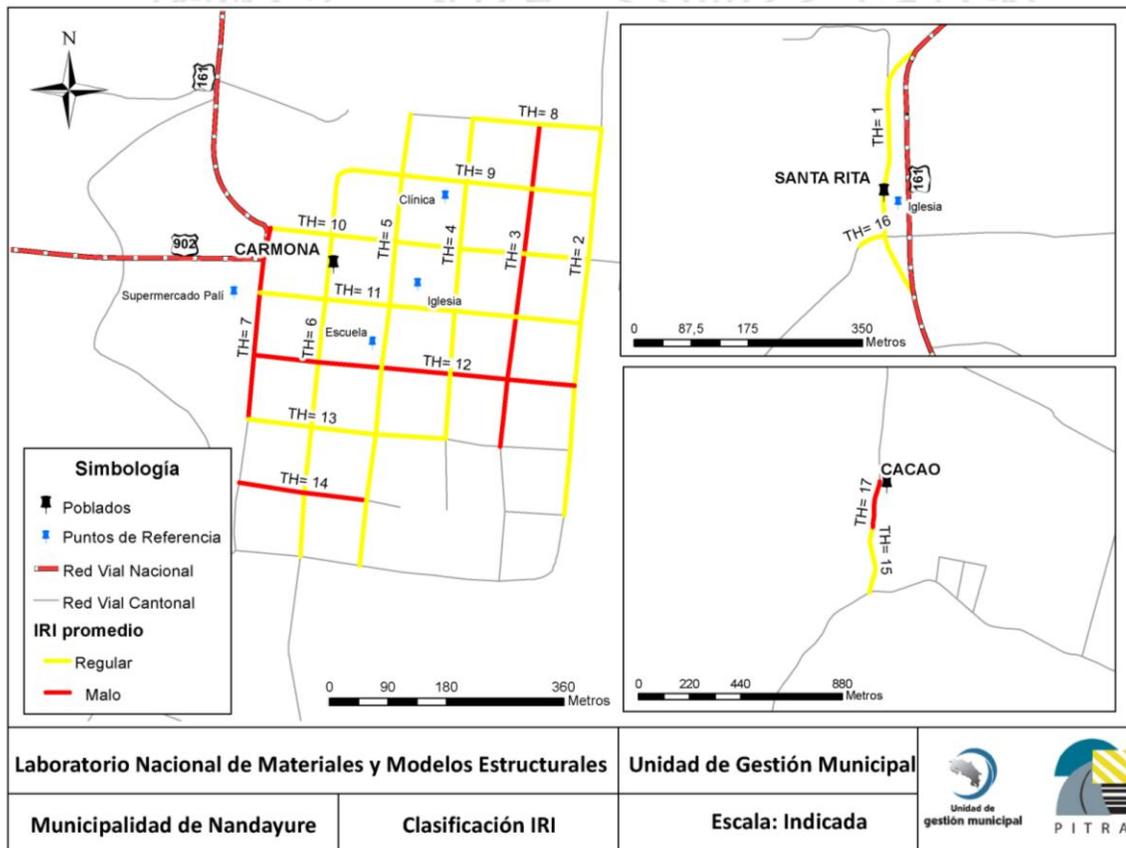


Figura 20. IRI promedio para las vías analizadas en Nandayure .

La distribución de la cantidad de tramos homogéneos y de los metros lineales asociados a cada categoría de IRI se muestra porcentualmente en las figuras 21 y 22. Se destaca que el 22% (ver figura 21) de la longitud evaluada en Nandayure posee un IRI entre 6,4 m/km y 10 m/km, correspondiente a una vía con irregularidades severas. 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 que se ve sometida, ocasionado por el golpeteo de los vehículos al transitar por una ruta irregular.

Además, se determinó que un 78% (ver figura 21) de la longitud evaluada, equivalente a 5,8 km presenta un IRI promedio del tramo entre 3,6 y 6,4 m/km, lo cual se asocia a una condición superficial regular para las velocidades de operación en una ruta cantonal.

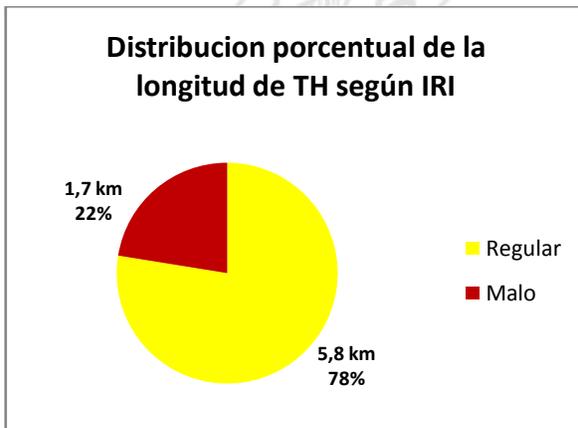


Figura 22. Porcentaje de metros clasificados según el IRI promedio.

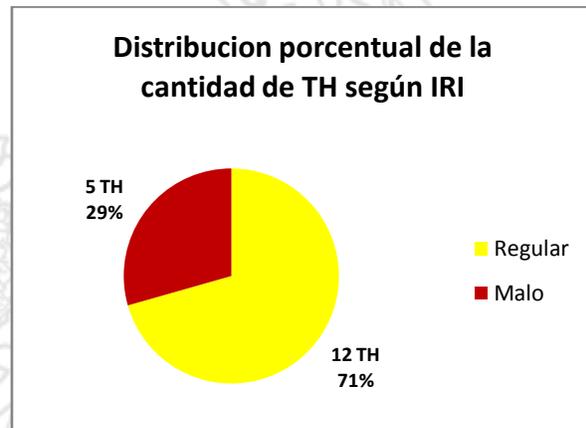


Figura 21. Porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el IRI promedio.

3.2.5 Notas de Calidad

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

La metodología plantea matrices que relacionan la capacidad estructural (valores de deflectometría) con la capacidad funcional (IRI) evaluada, de manera que se genera una

“nota” según el estado general en el que se encuentra un tramo. Hay diferentes matrices según el nivel de flujo vehicular asociado a una ruta, pues la caracterización de la capacidad estructural de una ruta es función del tránsito vehicular, ya que una ruta de alto tránsito requiere una mayor capacidad (menor deflexión) para soportar las cargas comparado con una ruta de bajo tránsito.

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

Se propone una serie de matrices que establecen notas de calidad en función de los valores de IRI y deflectometría. Cada nota se encuentra asociada a la condición que presenta la ruta al ser evaluada, en las tablas 2 y 3 se muestran las matrices utilizadas.

Tabla 2. Notas de calidad para un tránsito inferior a los 5000 vehículos diarios para una estructura con base granular.

IRI m/km	Deflexión 10 ⁻² mm			
	<76,5	76,5-88,5	88,5-115,7	>115,7
Bueno (0-3,6 m/km)	Q1	Q3	Q6	R-1
Regular (3,6-6,4 m/km)	Q2	Q5	Q8	R-2
Malo (6,4-10,0 m/km)	Q4	Q7	Q9	R-3
Muy malo (mayor 10,0 m/km)	M-RF	RH-RF	R-3	NP

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Tabla 3. Notas de calidad para un tránsito superior a los 5000 vehículos diarios e inferior a 15000 vehículos diarios para una estructura con base granular.

IRI m/km	Deflexión 10 ⁻² mm			
	<70,8	70,8-83,3	83,3-112,9	>112,9
Bueno (0-3,6 m/km)	Q1	Q3	Q6	R-1
Regular (3,6-6,4 m/km)	Q2	Q5	Q8	R-2
Malo (6,4-10,0 m/km)	Q4	Q7	Q9	R-3
Muy malo (mayor 10,0 m/km)	M-RF	RH-RF	R-3	NP

Fuente: LanammeUCR, 2012.



El uso de colores en las tablas 2 y 3 refleja, de manera general, el tipo de intervención (a nivel de gestión) que requiere cada una de las categorías. Los colores verdes representan actividades relacionadas con el mantenimiento, el amarillo se refiere a tramos que requieren recuperación de la capacidad funcional, el azul requiere un proceso de análisis a nivel de proyecto ya que se encuentra en una condición intermedia, los colores rosados representan tramos que requieren rehabilitación menor, los colores naranjas y rojos representan una rehabilitación mayor, y los negros requieren reconstrucción (en la siguiente sección se amplía la descripción de los diferentes tipos de intervenciones).

Cada una de las categorías que se muestran en los tablas 2 y 3 están asociadas a una descripción que caracteriza las condiciones generales en las que se encuentran los tramos en estudio, así como la intervención que se recomienda. Esta descripción, al igual que las tablas 2 y 3, son una adaptación a las condiciones municipales de las notas de calidad expuestas en el informe LM-PI-UE-05-11.

3.2.5.1 Definición de las notas de calidad

- Q1: Es la condición ideal de un pavimento desde el punto de vista funcional y estructural. Son estructuras que brindan un buen servicio al usuario, disminuyendo los costos de operación. A pesar de esto, pueden presentar deterioros que no son percibidos por la deflectometría de campo y la evaluación realizada con el perfilómetro (IRI), tales como: desprendimientos leves, desnudamiento o exudaciones. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones del tipo mantenimiento de preservación de bajo costo.
- Q2: Son pavimentos con muy buena capacidad estructural, sin embargo, poseen una capacidad funcional regular. En pavimentos flexibles los defectos superficiales que se pueden presentar son deformaciones en la mezcla asfáltica, baches reparados y agrietamientos de baja severidad. Estas estructuras son candidatas a mantenimientos de preservación de bajo costo, enfocadas a corregir la pérdida de capacidad funcional.
- Q3: En estos pavimentos se presenta una pérdida de la capacidad estructural, sin embargo, se mantiene una condición funcional buena. Por lo que los deterioros funcionales no percibidos por el deflectómetro o el perfilómetro (IRI) en el campo



pueden tener un mayor nivel de extensión o severidad. Los pavimentos que califican con esta nota son candidatos a mantenimientos de preservación de bajo costo, enfocadas a atender la pérdida de capacidad estructural, con el objetivo de detener o retardar su avance.

- Q4: Existe un deterioro en el pavimento que puede afectar la velocidad del tránsito. En pavimentos flexibles pueden presentarse grandes baches o grietas profundas, entre los deterioros se incluye pérdida de agregados y ahuellamiento, los cuales se encuentran en más del 50% de la superficie. Aunque la condición estructural es buena, la condición funcional presenta un deterioro importante que afecta la durabilidad del pavimento, aumentando la tasa de deterioro estructural de forma elevada. Debido al deterioro de la capa de ruedo estos pavimentos pasarán a las categorías M-RF o Q7 en el mediano plazo. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de mediano costo que se enfoquen a atender la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo.
- M-RF: En esta categoría se encuentran estructuras con un deterioro funcional extremo que afecta significativamente la velocidad del tránsito. Presentan grandes baches y grietas profundas en la carpeta asfáltica. El deterioro se presenta en más de la mitad de la superficie, comprometiendo la capacidad estructural del pavimento. Debido al deterioro en la capa de ruedo, en el corto plazo estos pavimentos pasarán a la categoría RH-RF. Los tramos que presentan esta categoría son candidatos a intervenciones de tipo de mantenimiento de alto costo, enfocadas en recuperar la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo para evitar un mayor deterioro de la capacidad estructural.
- Q5: Estas estructuras se encuentran en una condición de capacidad estructural y funcional intermedia por lo que es necesario realizar un análisis más detallado a nivel de proyecto.
- Q7: Los pavimentos en esta categoría tienen una condición de ruedo similar a los que se encuentran en la categoría Q4, sin embargo, presentan una peor condición estructural, por lo que deterioros como ahuellamientos, agrietamientos por fatiga o agrietamientos transversales y longitudinales son mayores. En estos pavimentos la

velocidad del deterioro estructural y funcional se intensifica, por lo que se encuentran propensos a pasar a las categorías RH-RF o Q9 en el mediano plazo. Estos tramos son candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación menor, enfocadas a la recuperación de la pérdida de capacidad funcional en el mediano plazo con el fin de retardar o evitar un mayor deterioro de la capacidad estructural.

- RH-RF: Los pavimentos es esta categoría poseen una condición de ruedo similar a M-RF, sin embargo, presentan una peor condición estructural, por lo que la presencia de deterioros es mayor. En estos tramos la velocidad de deterioro se intensifica por lo que son propensos a pasar a la categoría R3 a corto plazo. Estas estructuras son candidatas a intervenciones de tipo rehabilitación menor, enfocadas a recuperar la pérdida de capacidad funcional y estructural en el corto plazo para evitar o retardar un mayor deterioro.
- Q6, Q8 y Q9: Estos tramos presentan una condición estructural muy deficiente, en el caso de que presenten una buena condición funcional en el momento de su evaluación, normalmente se debe a recapados o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido a dar aporte estructural significativo, por lo tanto son trabajos de poca durabilidad. La condición de pérdida acelerada de la capacidad estructural y funcional de estos pavimentos los convierte en candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida a corto plazo.
- R-1, R-2: Estos pavimentos presentan una condición estructural muy deficiente. Los tramos que se encuentran categorizados en esta condición y poseen una buena condición de la capa de ruedo se debe, principalmente, a la presencia de sobrecapas o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido, de manera significativa, a nivel estructural, por lo tanto, son trabajos de poca durabilidad y existe una rápida migración a notas como R-3 y NP, donde la alternativa de intervención es una reconstrucción del pavimento. Estos tramos son candidatos a intervenciones del tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida de forma inmediata.
- R-3, NP: Estos pavimentos presentan un altísimo nivel de deterioro. Donde la transitabilidad y la capacidad estructural son inferiores a los niveles aceptables para

una carretera pavimentada. Estos tramos son candidatos a las inversiones de más alto costo, siendo tramos candidatos a una reconstrucción.

3.2.5.2 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 las tablas 2 y 3, donde los parámetros utilizados para la asignación de cada nota de calidad son el IRI promedio y la deflectometría promedio caracterizada según el tipo de base asociada y flujo vehicular característico.

En la tabla 4 se puede observar el detalle de los valores promedio de IRI y deflectometría para cada tramo homogéneo, además se indica la nota de calidad asociada a los valores obtenidos (en la figura 23 se muestra los porcentajes correspondientes a cada categoría, y en la figura 24 se presenta gráficamente las notas de calidad de cada tramo).

Tabla 4. Nota de calidad asignada a cada de tramo analizado en la localidad de Nandayure.

TH	Longitud	FWD Promedio	IRI Promedio	Nota de calidad
1	1152	Deficiente	Regular	Q8
2	594	Bueno	Regular	Q2
3	497	Bueno	Malo	Q4
4	297	Bueno	Regular	Q2
5	696	Bueno	Regular	Q2
6	598	Regular	Regular	Q5
7	295	Regular	Malo	Q7
8	196	Bueno	Regular	Q2
9	385	Bueno	Regular	Q2
10	491	Bueno	Regular	Q2
11	591	Deficiente	Regular	Q8
12	494	Regular	Malo	Q7
13	404	Bueno	Regular	Q2
14	198	Regular	Malo	Q7
15	288	Bueno	Regular	Q2
16	118	Regular	Regular	Q5
17	199	Deficiente	Malo	Q9

De acuerdo con la figura 23, el 47% de los tramos homogéneos presentan una nota de calidad Q2, y un 18% equivalente a 3 tramos pertenecen a la categoría de rehabilitación mayor con notas de calidad Q8 y Q9.

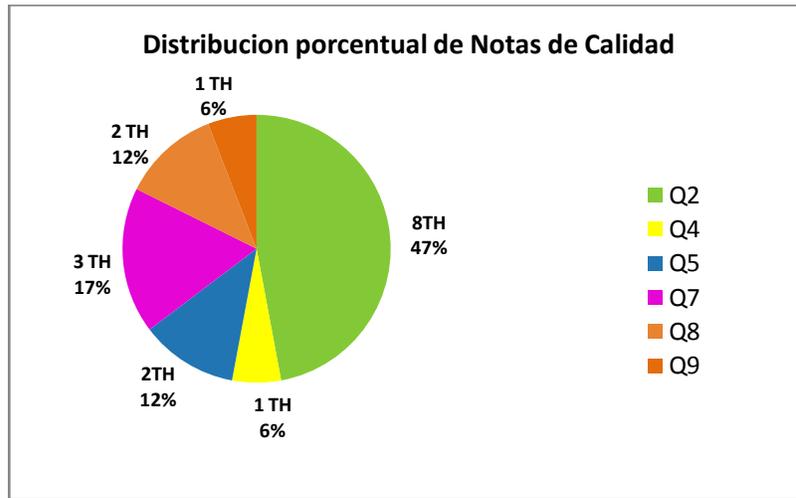


Figura 23. Distribución de las diferentes notas de calidad asignadas.

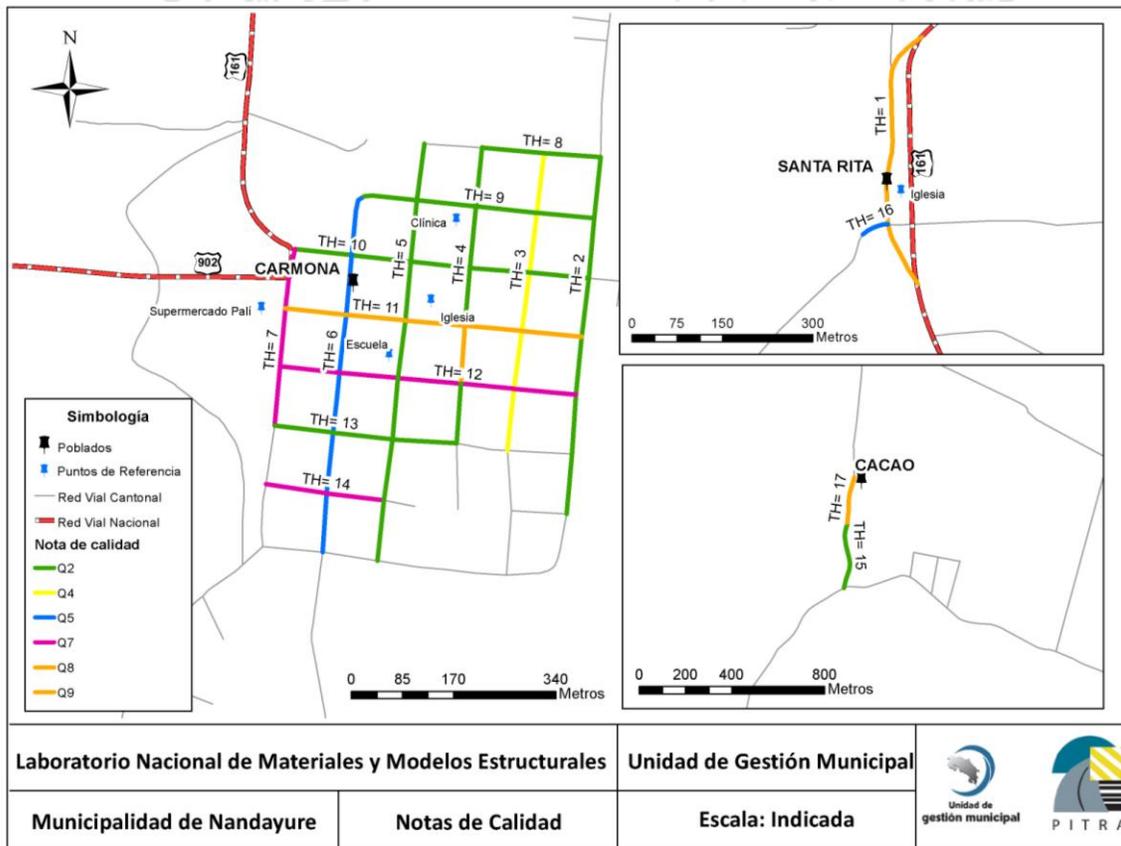


Figura 24. Notas de Calidad para tramos homogéneos de Nandayure.

3.3 Tipos de intervención

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

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

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

Los tipos de intervención a los que se hace referencia en cada una de las notas de calidad son una adaptación de las utilizadas en el informe LM-PI-UE-05-11 del Lanamme 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 prologar la vida útil del pavimento y corregir deterioros funcionales de leve intensidad.
- **Mantenimiento de recuperación funcional (IRI):** Su objetivo es mejorar la condición funcional del tramo, por lo que no necesariamente aportan mejoras estructuralmente. En estos casos se puede considerar labores de sustitución de la superficie de ruedo, recuperando los espesores existentes con material nuevo, o el uso de geotextiles para retardar el reflejo de grietas y una labor de perfilado o recuperación de la calzada. Este tipo de intervenciones deberían ser ejecutadas con prioridad alta, para

evitar que la gran irregularidad superficial provoque un daño en la capacidad estructural.

- Análisis a nivel de proyecto: Se requiere de una evaluación detallada del tramo con el fin de definir mejor el tipo de intervención adecuada.
- Rehabilitación Menor: Permite recuperar la capacidad estructural en niveles intermedios así como la capacidad funcional en niveles críticos. En estos tramos se podría aplicar un perfilado y una sobrecarpeta.
- Rehabilitación Mayor: Los tramos que califican para este tipo de intervención requieren una recuperación importante de la capacidad estructural. Por lo que se recomienda un perfilado y la colocación de una nueva sobrecarpeta que responda a un diseño estructural que considere la capacidad estructural remanente de la sección existente para un periodo de diseño determinado.
- Reconstrucción: Renovación de la estructura del camino, con previa demolición parcial o total de la estructura del pavimento. Este tipo de intervención es la de más alto costo y requiere de un diseño estructural formal.

En la figura 25 se muestra de manera sencilla la categorización de cada nota de calidad según el tipo de intervención que se recomienda a nivel de red. Es necesario hacer la diferencia entre el tipo de intervención identificada con color naranja y rojo, ya que a pesar de que ambos tipos de intervenciones se refieren a una rehabilitación mayor, las notas de calidad representadas con el color rojo requieren que la intervención se realice de forma inmediata, ya que de no ser así estos tenderán a deteriorarse rápidamente siendo requerida una reconstrucción del pavimento.

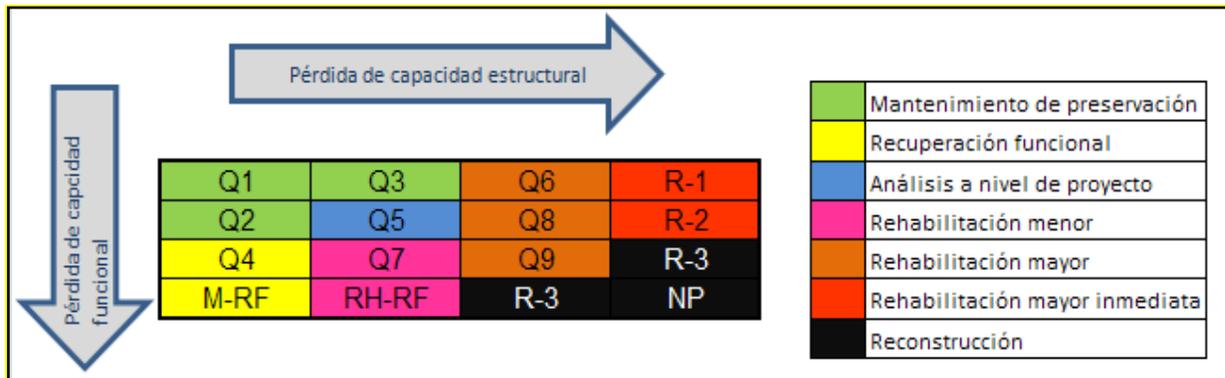


Figura 25. Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la tabla 5 puede observarse el tipo de intervención (a nivel de red) propuesto para cada tramo homogéneo en la localidad de Nandayure, con base en las mediciones y evaluaciones realizadas en el año 2012 por el personal del LanammeUCR y la UTGV de Nandayure.

Tabla 5. Tipo de intervención requerida a nivel de red para cada tramo evaluado.

Id	Longitud (m)	Nota de calidad	Tipo de intervención
1	1152	Q8	Rehabilitación mayor
2	594	Q2	Mantenimiento de preservación
3	497	Q4	Recuperación funcional
4	297	Q2	Mantenimiento de preservación
5	696	Q2	Mantenimiento de preservación
6	598	Q5	Análisis a nivel del proyecto
7	295	Q7	Rehabilitación menor
8	196	Q2	Mantenimiento de preservación
9	385	Q2	Mantenimiento de preservación
10	491	Q2	Mantenimiento de preservación
11	591	Q8	Rehabilitación mayor
12	494	Q7	Rehabilitación menor
13	404	Q2	Mantenimiento de preservación
14	198	Q7	Rehabilitación menor
15	288	Q2	Mantenimiento de preservación
16	118	Q5	Análisis a nivel del proyecto
17	199	Q9	Rehabilitación mayor

Es importante hacer énfasis en que estos resultados son válidos al momento de la evaluación, por lo tanto para planificar las diferentes intervenciones es importante hacer una

revisión de los datos con un mayor nivel de detalle y contrastar esos resultados con lo observado en sitio al momento de los trabajos.

En la siguiente figura puede observarse la distribución porcentual de los tipos de intervención requeridos según la cantidad de kilómetros analizados (aproximadamente 7,5 km), es de apreciar que un 45% (aproximadamente 3,4 km) de la longitud evaluada posee una buena condición estructural y funcional, únicamente alrededor de 500 metros requieren una recuperación funcional, y un 26% se encuentra en condiciones para una rehabilitación mayor.

En la figura 27 se observa de manera gráfica el tipo de intervención propuesta (a nivel de red) para cada uno de los tramos homogéneos; cabe señalar que algunos tramos fueron ajustados a la longitud de los cuadrantes, ya que a nivel operativo simplifica el proceso de construcción o intervención.

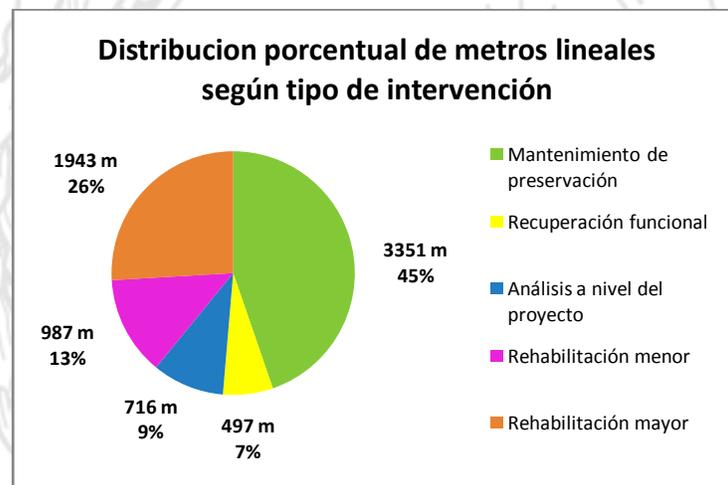


Figura 26. Distribución porcentual de los tipos de intervención para la red vial.

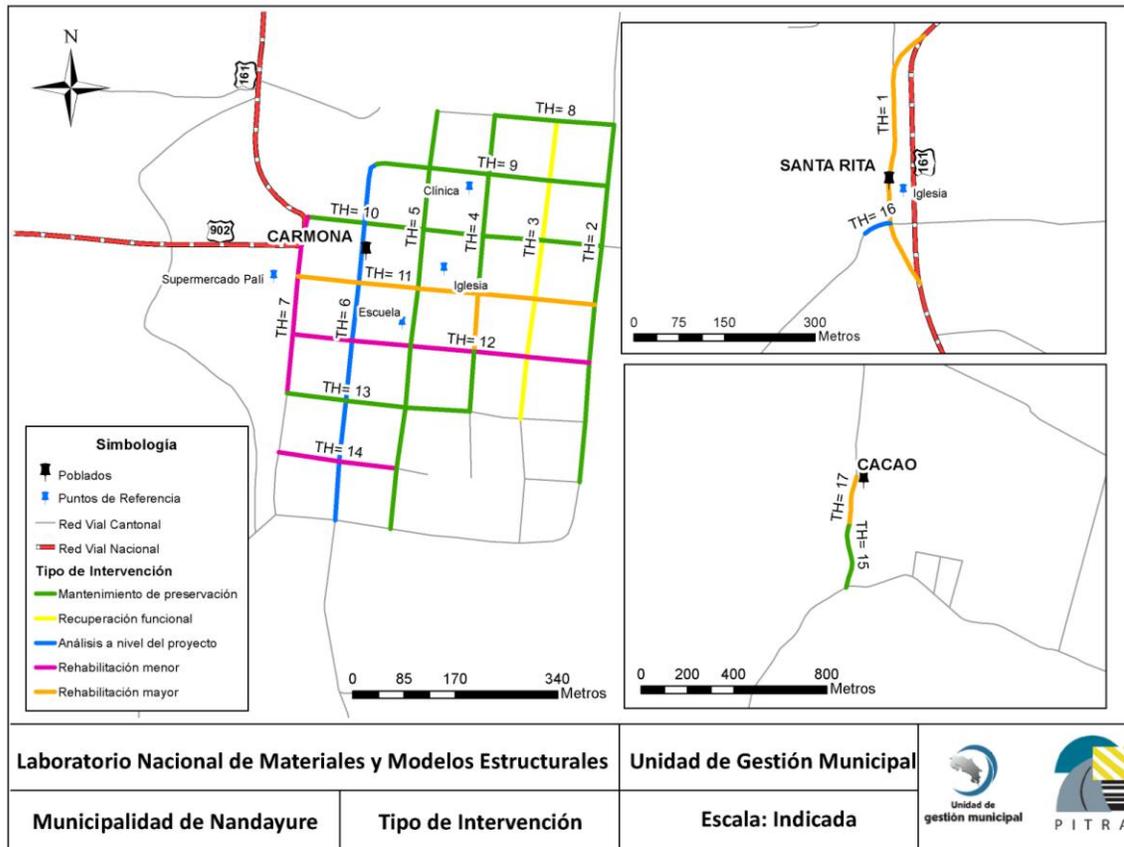


Figura 27. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo.

3.4 Diseño y Costos de los Tratamientos

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

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



Para diseñar las diferentes intervenciones es necesario realizar retro cálculo de los módulos resilientes de los materiales que conforman la estructura actual del pavimento. El retrocálculo se realiza considerando datos de deflectometría y utilizando los espesores de las diferentes capas, información generada a partir de los sondeos. El objetivo de realizarlo es estimar el valor del módulo para cada una de las capas que componen la estructura, utilizarlo como dato al diseñar las diferentes intervenciones que requieran los tramos, ya que se requiere realizar el diseño para diferentes “estructuras tipo” de la red vial cantonal de Nandayure.

Los costos generales de cada tipo de tratamiento se obtienen realizando una investigación del costo que representa para la municipalidad aplicar cada una de las intervenciones. Los costos totales de cada intervención se estiman al determinar los costos de intervenciones realizadas con anterioridad, ya sea por administración o por contrato. Si la municipalidad no cuenta con registros de costos suficientes para determinar la inversión necesaria para cada tipo de intervención, entonces podrá considerar costos de intervenciones realizadas sobre vías nacionales, por medio de investigación de licitaciones realizadas por el estado: CONAVI y MOPT. La investigación interna de costos y ajuste de los mismos al año actual debe realizarse como parte de las labores con las que el municipio debe apoyar para el avance del desarrollo del plan quinquenal.

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

3.5 Escenarios de inversión

Una vez que se cuente con la información actualizada de los costos según el tipo de intervención, es necesario que la municipalidad defina el presupuesto que se va a invertir en carreteras durante los próximos 5 años, así como las políticas que se pretenden aplicar para priorizar las rutas o tramos homogéneos que se pretenden intervenir, los cuales se incorporarán al plan quinquenal del gobierno local.

Es posible realizar distintos escenarios de intervención, en los cuales se pueden considerar tanto diferentes presupuestos como estrategias de intervención, tales como intervenir las



vías de mayor tránsito con un mayor deterioro, o intervenir las carreteras antes de que cambien de tipo de intervención (intervenir un tramo que se encuentra en el límite de rehabilitación para evitar que pase a reconstrucción), lo que maximiza los recursos disponibles. Esto se realiza con el objetivo de que la administración determine el presupuesto y la estrategia que más se adapta a los recursos disponibles y las metas institucionales que posee la municipalidad.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En toda la red vial analizada se generaron 17 tramos homogéneos para la localidad de Nandayure, los cuales tienen como objetivo definir unidades discretas para facilitar la gestión municipal en cuanto al mantenimiento y mejoramiento de la red. Cada uno de los tramos requiere de un tipo de intervención particular a lo largo de toda su longitud.

La condición estructural de los tramos homogéneos en las vías analizadas durante el año 2012 se encuentra con que un 51% de la red vial analizada se encuentra en buen estado (equivalente a un total de 3,8 km).

En cuanto al estado funcional de la red, se generaron tramos homogéneos con valores intermedios (entre los 3,6 y 10 m/km), es decir, no se encontró tramos en condición "Buena" ni "Muy mala". El 78% de la red vial analizada (12 tramos homogéneos) se encuentra en una condición "Regular", y el otro 22% presenta una condición "Mala" la cual implica una irregularidad superficial importante, que genera costos de operación (desgaste de llantas, combustible, etc.) elevados para los usuarios y mayores tiempos de viaje, además de que la irregularidad en una superficie provoca un desgaste acelerado en la estructura al generarse un impacto dinámico de las llantas de los vehículos sobre la superficie asfáltica.

Entre los resultados más relevantes del análisis de la red vial cantonal de Nandayure durante el año 2012, se obtiene que un 45% (equivalente a 3,4 km) de la longitud evaluada requiere de estrategias que brinden un mantenimiento de preservación, pues sus condiciones estructurales y funcionales se encuentran en condiciones buenas o regulares.

Además, un tramo homogéneo de una longitud aproximada de 500 metros es el único en requerir trabajos para recuperar su condición funcional y brindar mejores niveles de confort a



los usuarios; mientras que otros dos tramos de 720 m aproximadamente, requiere analizarse a nivel de proyecto.

Al momento de la evaluación, ninguna calle evaluada requería de procesos de reconstrucción, sin embargo, 1 km requiere trabajo de rehabilitación menor, y 1,9 km requieren de una rehabilitación mayor.

Es importante recalcar que los diferentes tipos de intervenciones sugeridos en este informe son generales y se enfocan en un nivel de análisis estratégico, por lo que pueden ser utilizadas como una herramienta de gestión por el municipio; sin embargo, es necesario realizar un diseño específico que considere los diferentes parámetros requeridos para un diseño a nivel de proyecto antes de la planeación y la ejecución de la obra, de igual forma debe realizarse una evaluación de la condición actual de las rutas, ya que la última evaluación data del año 2012.

Las recomendaciones de intervención se establecen basadas en la condición del pavimento, al momento de ejecutar los ensayos de laboratorio y campo (año 2012). Además, estas recomendaciones se proponen como soluciones óptimas generales a cada tramo homogéneo, es decir, si un tramo homogéneo requiere reconstrucción y se aplica un bacheo o una rehabilitación se solucionará el problema temporalmente, sin embargo, a corto o mediano plazo presentará deficiencias, por lo que no se estarían optimizando los recursos disponibles.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda al municipio actualizar el plan de inversiones a mediano plazo (plan quinquenal), en donde se definan los tramos homogéneos que se intervendrán cada año, el cual se base en el presupuesto disponible, los tipos de intervención sugeridos y los costos de ejecución del municipio. Así mismo, se recomienda intervenir tramos que se encuentren dentro de la categoría de rehabilitación mayor, para evitar tener que hacer mayores intervenciones a un corto plazo, ya que tramos con esta condición se deterioran con rapidez, pasando a notas de calidad R3-NP, donde lo que se requeriría es una reconstrucción y por lo tanto inversiones mayores, de igual forma deberían tener prioridad los tramos en la condición de preservación, para prolongar la vida útil de los mismos y maximizar la inversión realizada.



Dado la fecha de las evaluaciones (2012) se recomienda al municipio realizar una evaluación de la condición actual de las rutas pavimentadas evaluadas, con el fin de identificar secciones de carretera que podrían haber cambiado de condición, si este fuera el caso se recomienda complementar las evaluaciones realizadas mediante inspección visual.

Es necesario que el municipio realice un diagnóstico interno de la organización, funciones desempeñadas y las responsabilidades de los diferentes miembros de la Unidad Técnica de Gestión Municipal, con el objetivo de identificar los aspectos que se requieren fortalecer para realizar una gestión más eficiente y eficaz del mantenimiento y mejora de la red vial cantonal que administra.

Antes de definir un plan quinquenal es adecuado que institucionalmente se definan las metas a alcanzar y las políticas que se ejecutarán, las cuales deberían estar basadas en el diagnóstico de la condición actual, de manera que se encuentren acordes a la realidad de la red en cuestión y los recursos disponibles.

De la misma forma en que se analizan y planifican las estrategias de intervención en la red vial asfaltada es recomendable que la municipalidad cree un plan de inversiones a mediano y largo plazo que contemple el análisis e intervenciones en las rutas no pavimentadas.

-----UL-----



5 REFERENCIAS

- Badilla V., G. “Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)” Infraestructura Vial, N°21 (Febrero 2009).
- Hass, R.; Hudson, W.R.; Zaniewski, J. (1993). Modern Pavement Management. R.E. Krieger Publishing Company, Florida.
- Informe LM-PI-PM-04-09, Informe de Avance: Desarrollo de un sistema para la conservación vial en la municipalidad de La Unión. Proyecto Municipal, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José, Costa Rica. Agosto, 2009.
- López Ramírez, Sharline. Sistema piloto de administración de pavimentos en la Municipalidad de La Unión, Heredia. Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica – San José, Costa Rica. Febrero, 2009.
- Orozco Santoyo R. V. Evaluación de Pavimentos con Métodos no Destructivos. Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 2005.
- Proyecto N° UI-PC-03-08, Variaciones a los Rangos para la Clasificación Estructural de la Red Vial Nacional de Costa Rica. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial (UIIVI), Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José Costa Rica. Agosto, 2008.
- Proyecto N° UI-PC-04-08, Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices de red vial nacional, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José Costa Rica. Noviembre, 2008.
- Solminihac H. (1998). Gestión de Infraestructura Vial; Editorial Universidad Católica de Chile, Chile.
- Wave; Department of Transportation of New Brunswick. (2005). Appendix Document, Asset Management Business Framework, New Brunswick Department of Transportation.