



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-07-14

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE TRAMOS HOMOGÉNEOS RED VIAL CANTONAL DE TILARÁN

Preparado por:
Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica
Mayo, 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

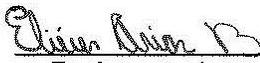
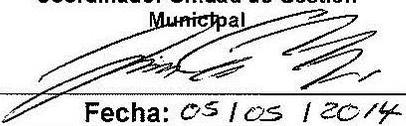
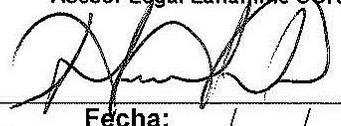
1. Informe LM-PI-GM-07-14		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE TRAMOS HOMÓGENEOS RED VIAL CANTONAL DE TILARÁN.		4. Fecha del Informe: Mayo, 2014
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias		
7. Resumen <i>De acuerdo con las distintas pruebas al pavimento y conteos vehiculares efectuados durante el año 2010 en el cantón de Tilarán (en las localidades de Tierras Morenas, Los Ángeles, Tronadora, Arenal y Quebrada grande, específicamente), se elaboró un diagnóstico de la red vial cantonal de la zona, con el principal objetivo de determinar tramos homogéneos por medio de los cuales se proponen soluciones a secciones de carretera que presenten características estructurales similares. El análisis se desarrolló para un total de 17 km y contempló pruebas de deflectometría, Índice de Regularidad Internacional (IRI), conteos vehiculares y sondeos a cielo abierto. Se consideró pertinente seccionar la red vial cantonal analizada en un total de 46 tramos homogéneos, de los cuales según los ensayos de deflectometría de ese año, se obtuvo como resultado que un 70% de éstos (11,2 km) presentaba un nivel avanzado de deterioro, y que únicamente 8 tramos fueron ubicados en la categoría de "buena condición estructural". Además, en relación a la condición funcional de la red, se determinó que para el año 2010, un 52% (8,9 km) se encontraba en malas condiciones, y solamente un tramo presentaba buen estado, mientras que el resto de la red, es decir, un 47% equivalente a 7,9 km estaba catalogado en un estado regular (con un IRI entre 3,6 y 6,4m/km). 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 de cada uno de los tramos homogéneos durante el año 2010, y que deberían ser validadas para poder emplearse actualmente. 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>		
8. Palabras clave Evaluación de carreteras, Gestión, Red vial cantonal, Tilarán, Tramos homogéneos	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 81
11. Preparado por: Ing. Ana Catalina Vargas Sobrado Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 05/05/2014		12. Revisado por: Ing. Sharline López Ramírez Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 5/5/2014
13. Revisado por: Ing. Jaime Allen Monge, MSc Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 05/05/2014	14. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Lanamme UCR  Fecha: / /	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: (/)

TABLA DE CONTENIDO

1	ANTECEDENTES.....	7
1.1	ASESORÍA TÉCNICA	7
1.2	CAPACITACIÓN.....	8
1.3	MUESTREOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO.....	8
1.4	RECURSOS FINANCIEROS.....	8
1.5	REGLAMENTO AL ARTÍCULO 5 INCISO B) DE LA LEY 8114: REGLAMENTO SOBRE EL MANEJO, NORMALIZACIÓN Y RESPONSABILIDAD PARA LA INVERSIÓN PÚBLICA EN LA RED VIAL CANTONAL.....	8
2	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL.....	9
2.1	IMPORTANCIA.....	9
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP)	10
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL.....	12
2.4	ESQUEMA METODOLÓGICO.....	14
3	DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE TILARÁN.....	15
3.1	OBJETIVO	15
3.2	ACTIVIDADES	15
3.2.1	<i>TRÁNSITO VEHICULAR DIARIO</i>	<i>15</i>
3.2.2	<i>IDENTIFICAR CONDICIÓN FUNCIONAL</i>	<i>19</i>
3.2.3	<i>IDENTIFICAR CONDICIÓN ESTRUCTURAL.....</i>	<i>25</i>
3.2.4	<i>CARACTERIZAR LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</i>	<i>30</i>
3.2.5	<i>DEFINIR TRAMOS HOMOGÉNEOS</i>	<i>46</i>
3.2.6	<i>NOTAS CALIDAD</i>	<i>58</i>
3.3	TIPOS DE INTERVENCIÓN.....	68
3.4	DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	76
3.5	ESCENARIOS DE INVERSIÓN	77
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
4.1	CONCLUSIONES.....	78
4.2	RECOMENDACIONES.....	79
5	REFERENCIAS	81

ÍNDICE DE CUADROS

TABLA 1. ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO SEGÚN LOS SONDEOS REALIZADOS.	31
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO DE LA SUB-RASANTE EN LOS SONDEOS REALIZADOS.	41
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DEL CBR.	42
TABLA 4. ÍNDICE DE RESISTENCIA CBR.	46
TABLA 5. LONGITUD DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN TILARÁN.	47
TABLA 6. NOTAS DE CALIDAD PARA UN TRÁNSITO INFERIOR A LOS 5000 VEHÍCULOS DIARIOS PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.	59
TABLA 7. NOTAS DE CALIDAD PARA UN TRÁNSITO SUPERIOR A LOS 5000 VEHÍCULOS DIARIOS E INFERIOR A 15000 VEHÍCULOS DIARIOS PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.	59
TABLA 8. NOTA DE CALIDAD ASIGNADA A CADA TRAMO ANALIZADO EN LA LOCALIDAD DE TILARÁN.	63
TABLA 9. TIPO DE INTERVENCIÓN REQUERIDA A NIVEL DE RED PARA CADA TRAMO EVALUADO DE LA RED VIAL CANTONAL DE TILARÁN.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS.	11
FIGURA 2. ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL.	13
FIGURA 3. ESQUEMA METODOLÓGICO.	14
FIGURA 4. CABLES Y CONTADORES AUTOMÁTICOS EN SITIO.	16
FIGURA 5. CONFIGURACIÓN DE LOS CONTADORES.	17
FIGURA 6. VOLUMEN VEHICULAR DIARIO EN LA LOCALIDAD DE TILARÁN.	18
FIGURA 7. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN LA LOCALIDAD DE TILARÁN.	19
FIGURA 8. REPRESENTACIÓN FÍSICA DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL.	20
FIGURA 9. PERFILÓMETRO INERCIAL LÁSER.	21
FIGURA 10. CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS LOCALIDADES DE LOS ÁNGELES Y TIERRAS MORENAS.	22
FIGURA 11. CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS LOCALIDADES DE TRONADORA Y ARENAL.	23



FIGURA 12. CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS LOCALIDADES DE TILARÁN Y QUEBRADA GRANDE.	24
FIGURA 13. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DEL IRI.	24
FIGURA 14. EQUIPO DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO.	25
FIGURA 15. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.	26
FIGURA 16. CONDICIÓN DEL FWD PARA LAS LOCALIDADES DE LOS ÁNGELES Y TIERRAS MORENAS.	27
FIGURA 17. CONDICIÓN DEL FWD PARA LAS LOCALIDADES DE TRONADORA Y ARENAL.	28
FIGURA 18. CONDICIÓN DEL FWD PARA LAS LOCALIDADES DE TILARÁN Y QUEBRADA GRANDE.	29
FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DE FWD.	29
FIGURA 20. EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	30
FIGURA 21. CARACTERIZACIÓN SEGÚN SUCS EN LOS ÁNGELES Y TIERRAS MORENAS.	33
FIGURA 22. CARACTERIZACIÓN SEGÚN SUCS EN TRONADORA Y ARENAL.	34
FIGURA 23. CARACTERIZACIÓN SEGÚN SUCS EN TILARÁN.	35
FIGURA 24. CARACTERIZACIÓN SEGÚN AASHTO EN LA LOCALIDAD DE LOS ÁNGELES Y TIERRAS MORENAS.	38
FIGURA 25. CARACTERIZACIÓN SEGÚN AASHTO EN LA LOCALIDAD DE TRONADORA Y ARENAL.	39
FIGURA 26. CARACTERIZACIÓN SEGÚN AASHTO EN LA LOCALIDAD DE TILARÁN.	40
FIGURA 27. PRUEBA DE CBR EN SITIO.....	42
FIGURA 28. CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES, EN LOS ÁNGELES Y TIERRAS MORENAS.	43
FIGURA 29. CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES, EN TRONADORA Y ARENAL.	44
FIGURA 30. CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES, EN TILARÁN.	45
FIGURA 31. UBICACIÓN DE DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS EN LOS ÁNGELES Y TIERRAS MORENAS.	48
FIGURA 32. UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN TRONADORA Y ARENAL.....	49
FIGURA 33. UBICACIÓN DE DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN TILARÁN. .	50
FIGURA 34. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN LOS ÁNGELES Y TIERRAS MORENAS.	51



FIGURA 35. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN TRONADORA Y ARENAL.	52
FIGURA 36. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN TILARÁN Y QUEBRADA GRANDE.	53
FIGURA 37. PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO. .	54
FIGURA 38. PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD PROMEDIO.	54
FIGURA 39. IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN LOS ÁNGELES Y TIERRAS MORENAS.	55
FIGURA 40. IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN TRONADORA Y ARENAL.	56
FIGURA 41. IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN TILARÁN Y QUEBRADA GRANDE.	57
FIGURA 42. PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.	58
FIGURA 43. PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.	58
FIGURA 44. NOTAS DE CALIDAD PARA LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN LAS LOCALIDADES DE LOS ÁNGELES Y TIERRAS MORENAS.	65
FIGURA 45. NOTAS DE CALIDAD PARA LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN LA LOCALIDAD DE TRONADORA Y ARENAL.	66
FIGURA 46. NOTAS DE CALIDAD PARA LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN LA LOCALIDAD DE TILARÁN Y QUEBRADA GRANDE.	67
FIGURA 47. DISTRIBUCIÓN DE LAS NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS A CADA TRAMO HOMOGÉNEO.	68
FIGURA 48. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA NOTA DE CALIDAD.	70
FIGURA 49. TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE TILARÁN, SEGÚN LONGITUD.	73
FIGURA 50. TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE TILARÁN, SEGÚN CANTIDAD DE TRAMOS.	73
FIGURA 51. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO SEGÚN LA CONDICIÓN ACTUAL.	74
FIGURA 52. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO SEGÚN LA CONDICIÓN ACTUAL.	75
FIGURA 53. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO SEGÚN LA CONDICIÓN ACTUAL.	76



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 Tilarán solicitó el apoyo técnico del LanammeUCR para elaborar el Plan Quinquenal de Conservación de la Red Vial Cantonal.

Con el propósito de unir esfuerzos para lograr objetivos comunes, la Municipalidad de Tilarán y la Universidad de Costa Rica convienen en suscribir 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 Tilarán.
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 Muestreos, ensayos de laboratorio y campo

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

1.4 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.

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

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

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



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

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

2 PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL

2.1 Importancia

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

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

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

La importancia del tema se enfoca en maximizar los beneficios obtenidos al invertir en la red vial cantonal de la Municipalidad de Tilarán, proporcionando políticas de inversión para la

Informe LM-PI-GM-07-14	Fecha de emisión: Mayo, 2014	Página 9 de 81
------------------------	------------------------------	----------------



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, dado que las decisiones se basan en estudios técnicos que permiten guiar de una mejor manera las inversiones, con el fin de dar un mejor aprovechamiento y rentabilidad de los recursos disponibles.

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



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

Fuente: Tomado y modificado de Haas, 1993.

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

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

- Capacidad de ser fácilmente utilizado, posibilitando agregar y actualizar datos y modificarlo con nueva información de manera sencilla.
- Capacidad de considerar estrategias alternas dentro de la evaluación.



- Capacidad de identificar la estrategia o alternativa óptima.
- Capacidad de basar sus decisiones en procedimientos racionales, con atributos, criterios y restricciones cuantificables.
- Capacidad de utilizar la información para la retroalimentación del sistema y llevar un control del cambio en las condiciones de la red.

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

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

El comienzo de una gestión integral de los elementos de la infraestructura vial puede iniciar con un elemento fundamental y de gran importancia, en este caso en particular: el pavimento, pero en forma progresiva deben aplicarse herramientas que permitan gestionar la conservación e incorporar los demás elementos (Ej. alcantarillado, puentes, señalización, etc.) que proveen al usuario de una operación segura y de bajo costo (De Solminihac, 1998).

2.3 Proceso de Gestión de Infraestructura Vial Municipal

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

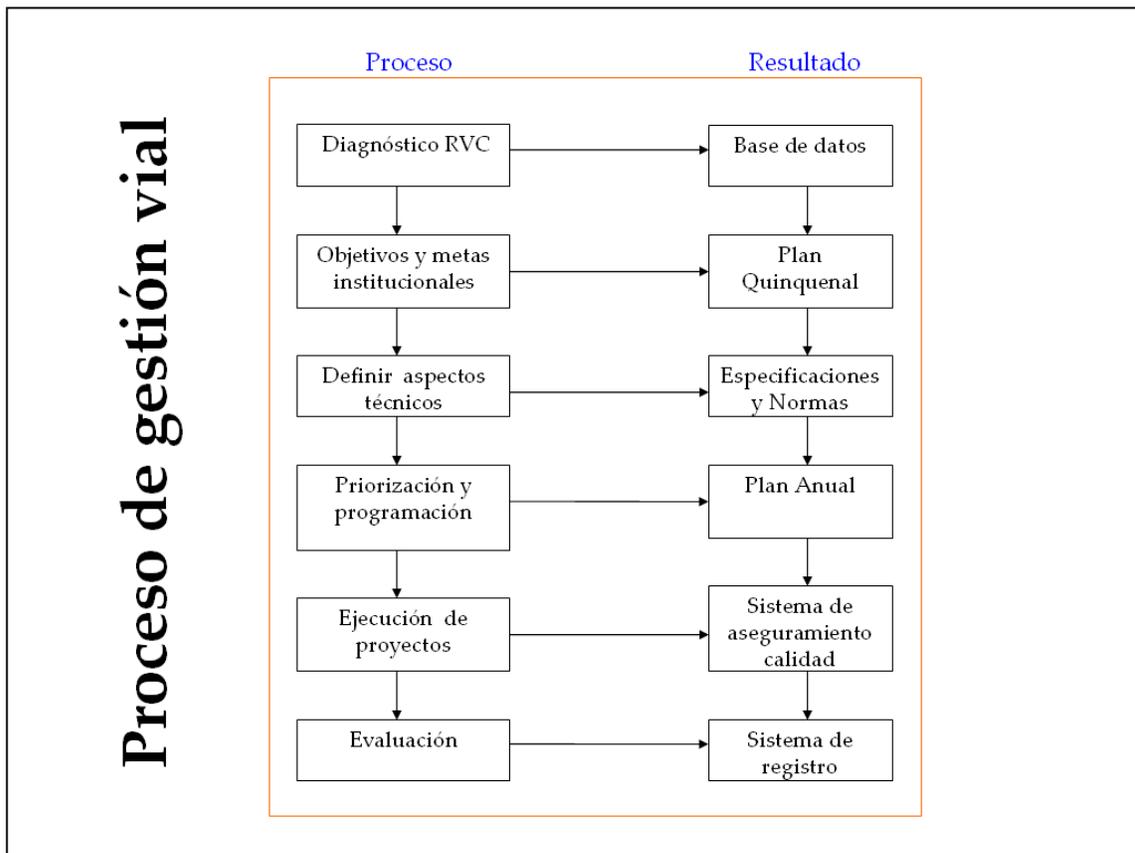


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

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

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

- Nivel estratégico: planes globales a realizarse a largo plazo (20 años). Permiten maximizar los recursos.
- Nivel táctico: planes que priorizan los proyectos por realizar a mediano plazo (4 ó 5 años).

- Nivel operativo: se enfoca en el diseño de los proyectos por ejecutar en el año siguiente.

2.4 Esquema Metodológico

En la figura 3, se presenta el esquema metodológico implementado para determinar el diagnóstico de la RVC y obtener, a partir de los datos generados por el diagnóstico, diferentes escenarios de inversión, acorde con las posibilidades financieras del municipio.

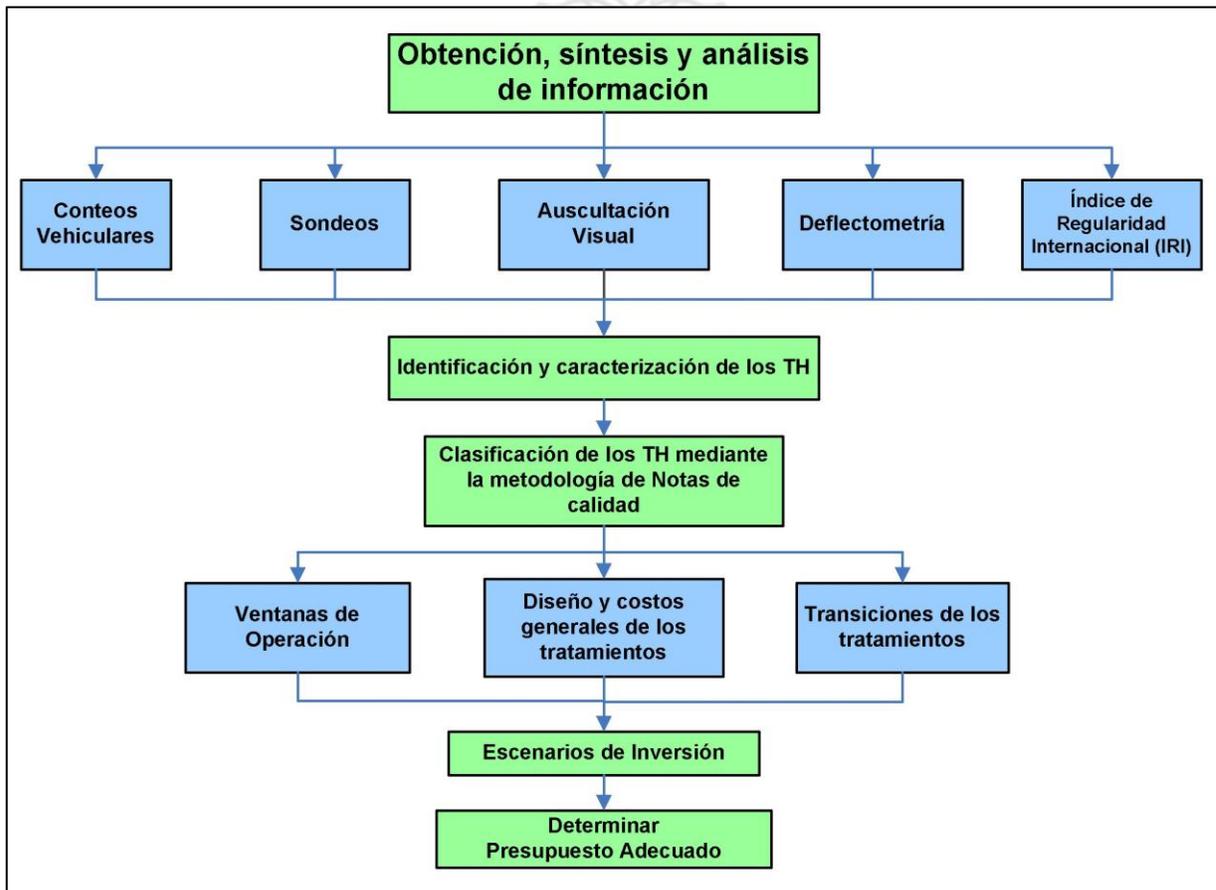


Figura 3. Esquema metodológico.



3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE TILARÁN

3.1 Objetivo

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

3.2 Actividades

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

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

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 el refuerzo o mantenimiento oportuno. Por ésta 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 Tilarán fue responsable de realizar éstos conteos, los cuales suministran información indispensable para la realización de un correcto diagnóstico de la red vial.

Los conteos vehiculares se realizan 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 Tilarán utilizando el equipo de MetroCount, 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 periodos 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 de manera periódica, de preferencia cada año o máximo cada dos años. Además, 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. Cables y contadores automáticos en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

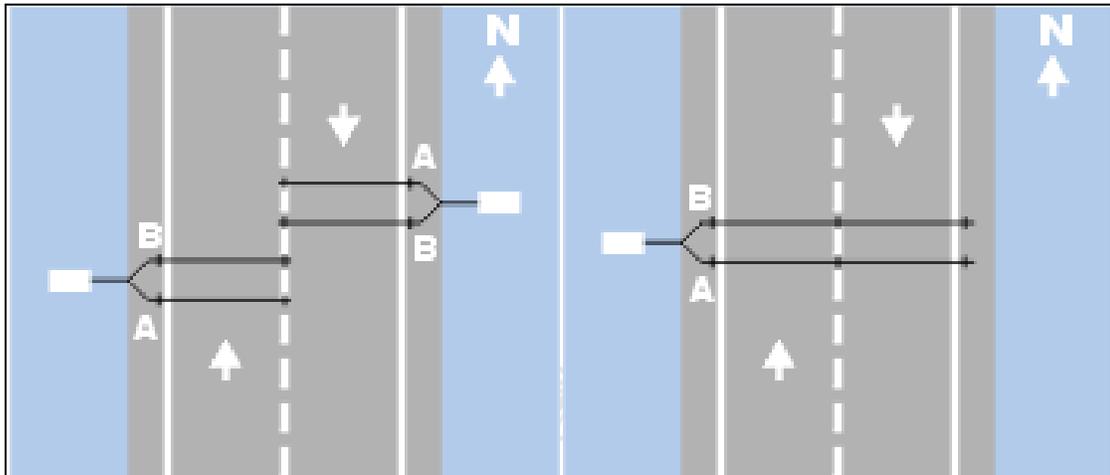


Figura 5. Configuración de los contadores.

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.

En la figura 6, se presenta los sitios en donde se realizaron los conteos en la localidad de Tilarán. Además, se muestra el tránsito promedio diario correspondiente a cada uno de ellos para el año 2010, de los cuales todos poseen una cantidad de vehículos menor a 5000, con una única excepción del conteo realizado sobre la ruta 142 de la Red Vial Nacional.

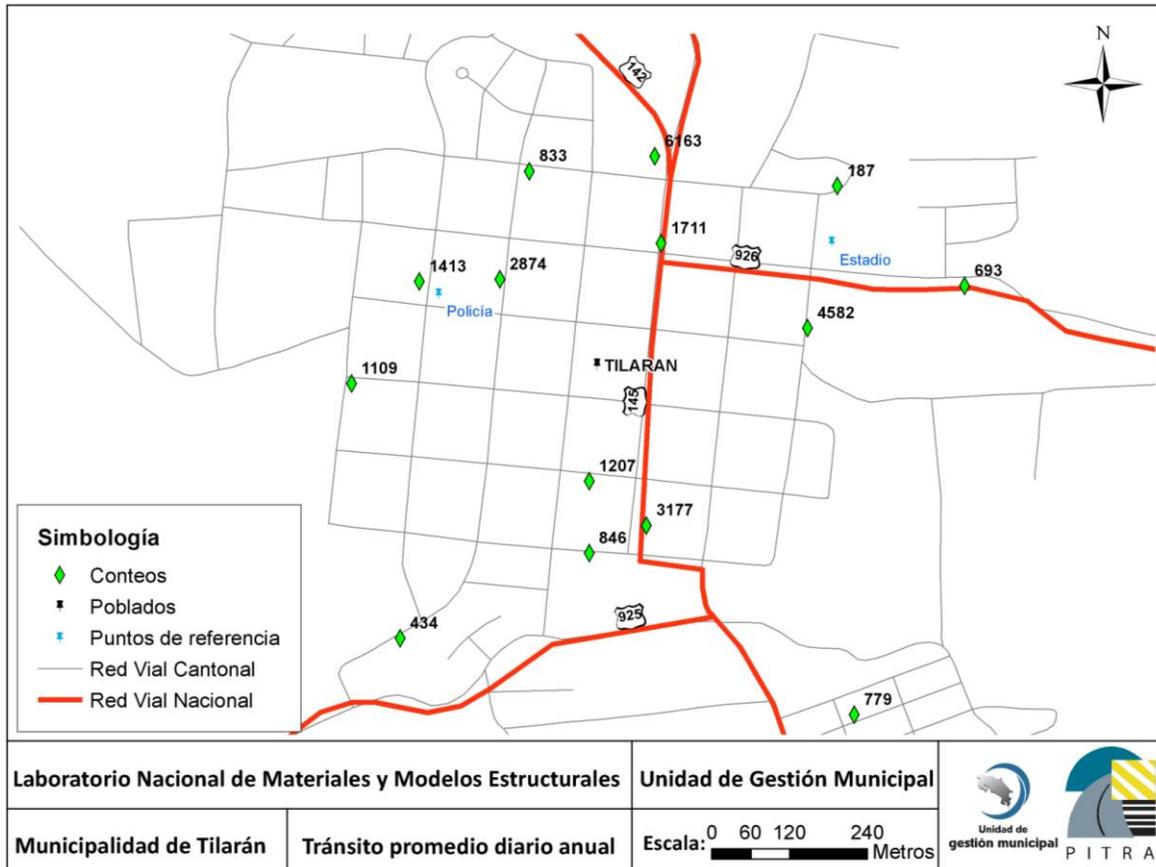


Figura 6. Volumen vehicular diario en la localidad de Tilarán.

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

Además, de la cantidad de vehículos que circulan diariamente en las vías, es importante conocer la cantidad de vehículos pesados, ya que este tipo de vehículos ejercen un mayor desgaste del pavimento, con respecto a los vehículos livianos. En la figura 7, se presenta el porcentaje de vehículos pesados que transitan sobre diferentes vías de la localidad de Tilarán, en donde se registró un promedio de 4,6% de vehículos pesados.

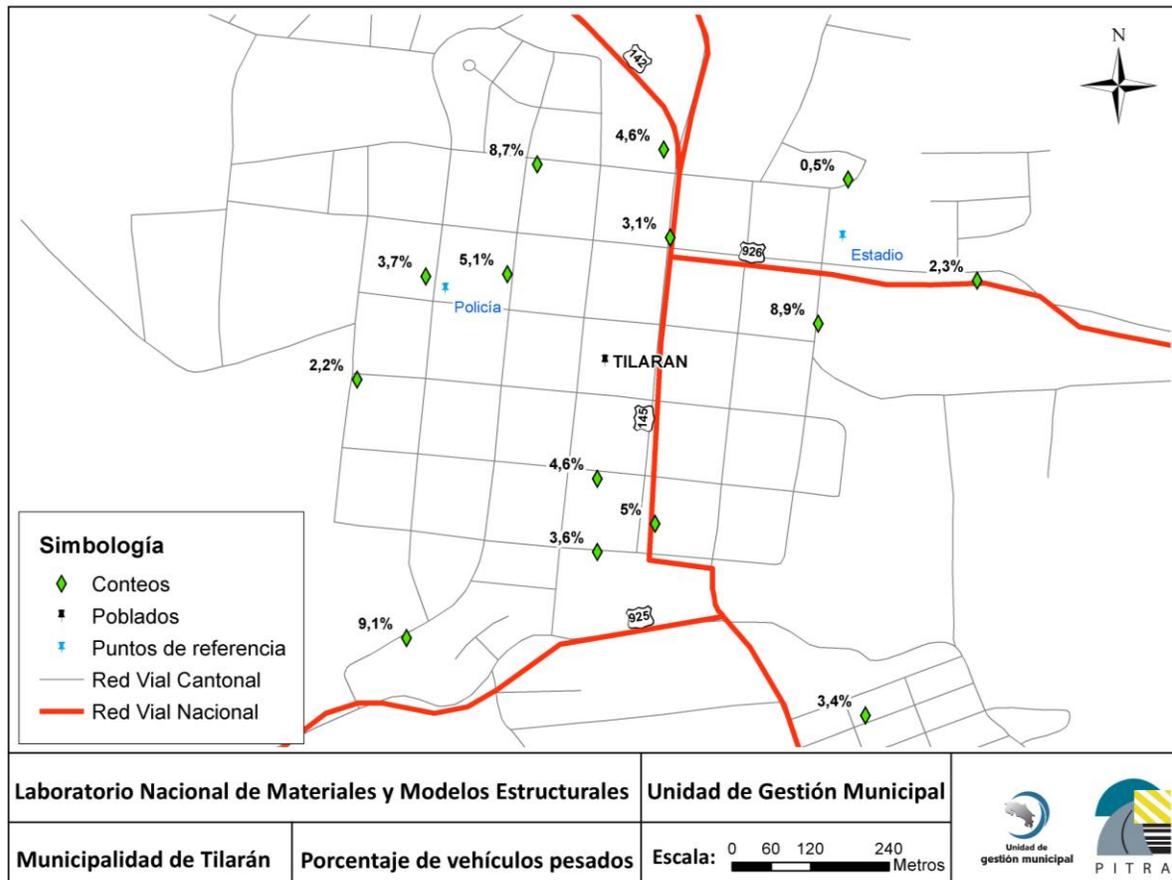


Figura 7. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Tilarán.

Fuente: LanammeUCR, 2014 (Información recopilada por UTVG-Tilarán).

3.2.2 Identificar condición funcional

La parte funcional se refiere a la habilidad de la vía para cumplir la función de proporcionar servicio y confort a los usuarios; con respecto a la funcionalidad, se evalúa 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 así como para la gestión de pavimentos. Este índice está relacionado con los costos de operación de los vehículos y la vida útil de los pavimentos.

El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la regularidad de un camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h. El IRI aumenta conforme la rugosidad aumenta, como se presenta en la figura 8.

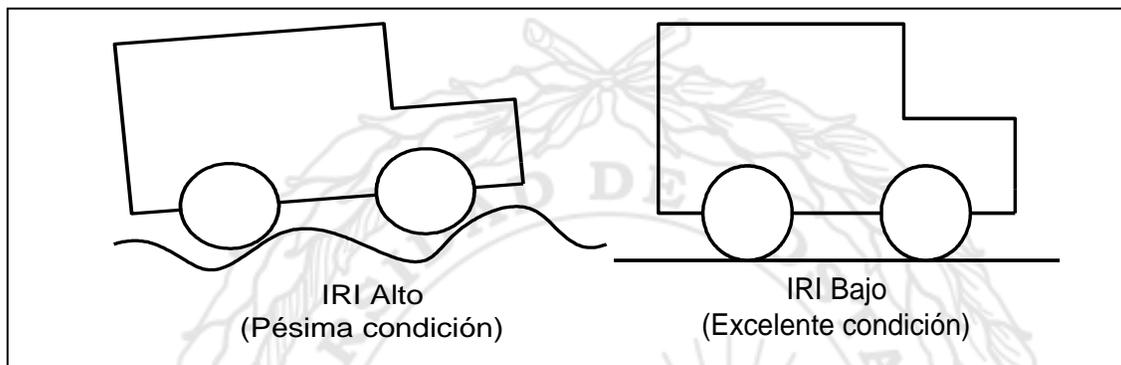


Figura 8. Representación física del Índice de Regularidad Internacional.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino. Para ser precisos se debe especificar la longitud para la cual se determina dicho valor, ya que el IRI es el valor medio de los IRI unitarios.

El equipo utilizado para la medición del IRI es del tipo Perfilómetro Inercial Láser. Estos son equipos de alto rendimiento que producen 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 delantera del vehículo. A continuación en la figura 9, se muestra un esquema del funcionamiento del equipo y una imagen del equipo.

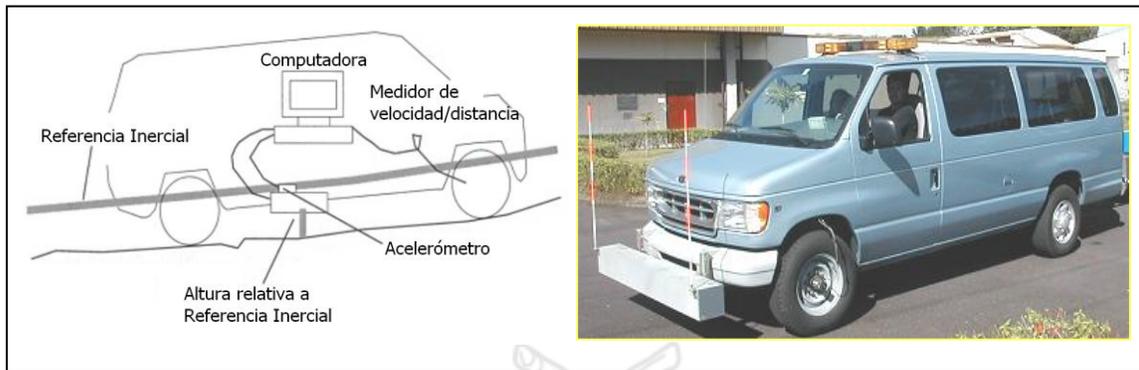


Figura 9. Perfilómetro Inercial Láser.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Para la evaluación, el IRI se midió sobre la red vial pavimentada a cada 25 metros, con el Perfilómetro Inercial Láser del LanammeUCR, en el mes de mayo del 2010 abarcando todas las rutas contempladas en el convenio, sobre una longitud de 17 km; en la figura 10, figura 11 y figura 12, se muestran estas mediciones para la localidad de Tilarán. Con el fin de clasificar la RVC en función de IRI se utiliza la siguiente simbología: “Bueno” para un IRI menor a 3,6 m/km; una condición “Regular” implica valores de IRI entre 3,6 m/km y 6,4 m/km; “Malo” un IRI entre 6,4 m/km y 10 m/km y “Muy malo” para un IRI mayor a 10 m/km.

En la figura 13, se observan los porcentajes asociados a cada condición, según las mediciones de IRI en la localidad de Tilarán durante el año 2010. En las mediciones realizadas, aproximadamente un 45% presenta valores de IRI superior a 6,4 m/km, lo cual indica que es una superficie de ruedo con bajo nivel de confort y con altos gastos de operación para los vehículos que la transitan.

Por otro lado, únicamente un 21% de las mediciones realizadas se pueden clasificar con condiciones aceptables de regularidad superficial (menores a 3,6 m/km) y un 34% se encuentra en una condición que se puede clasificar como regular.

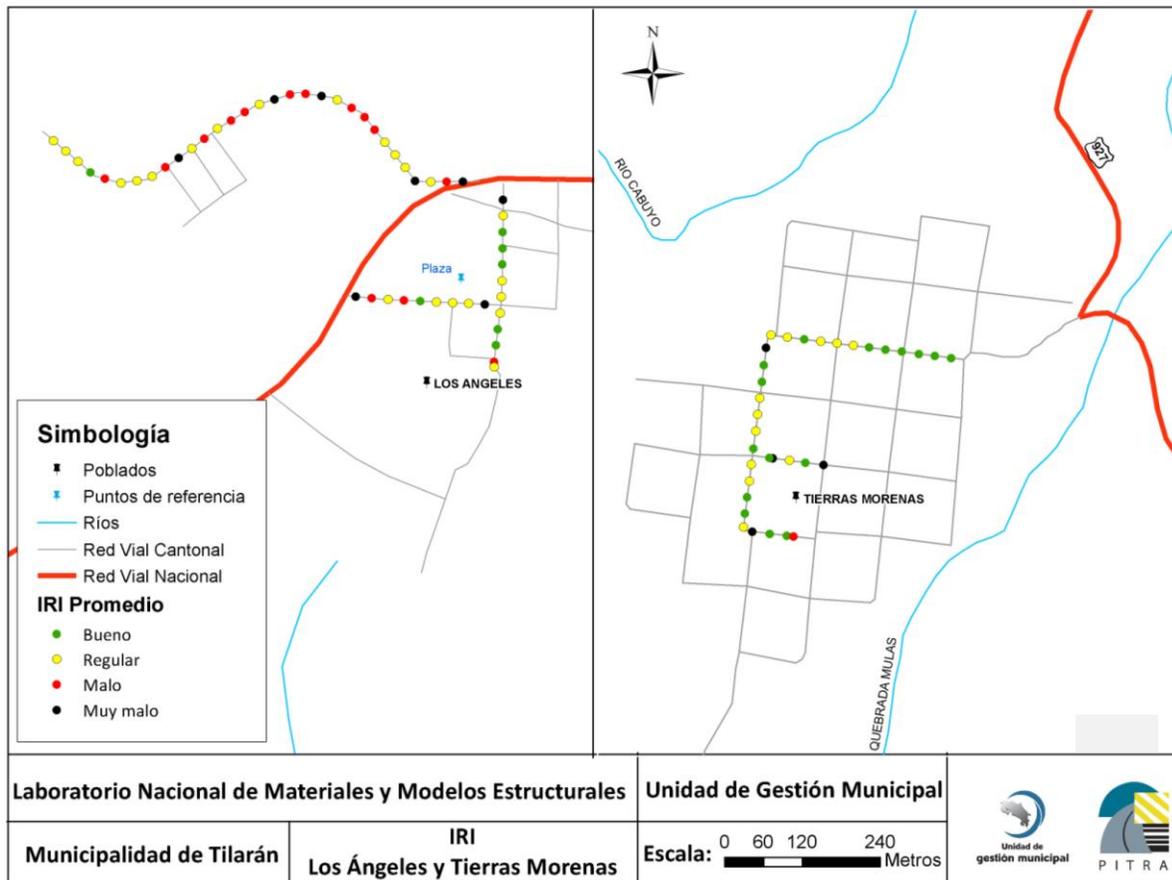


Figura 10. Condición del IRI para las localidades de Los Ángeles y Tierras Morenas.

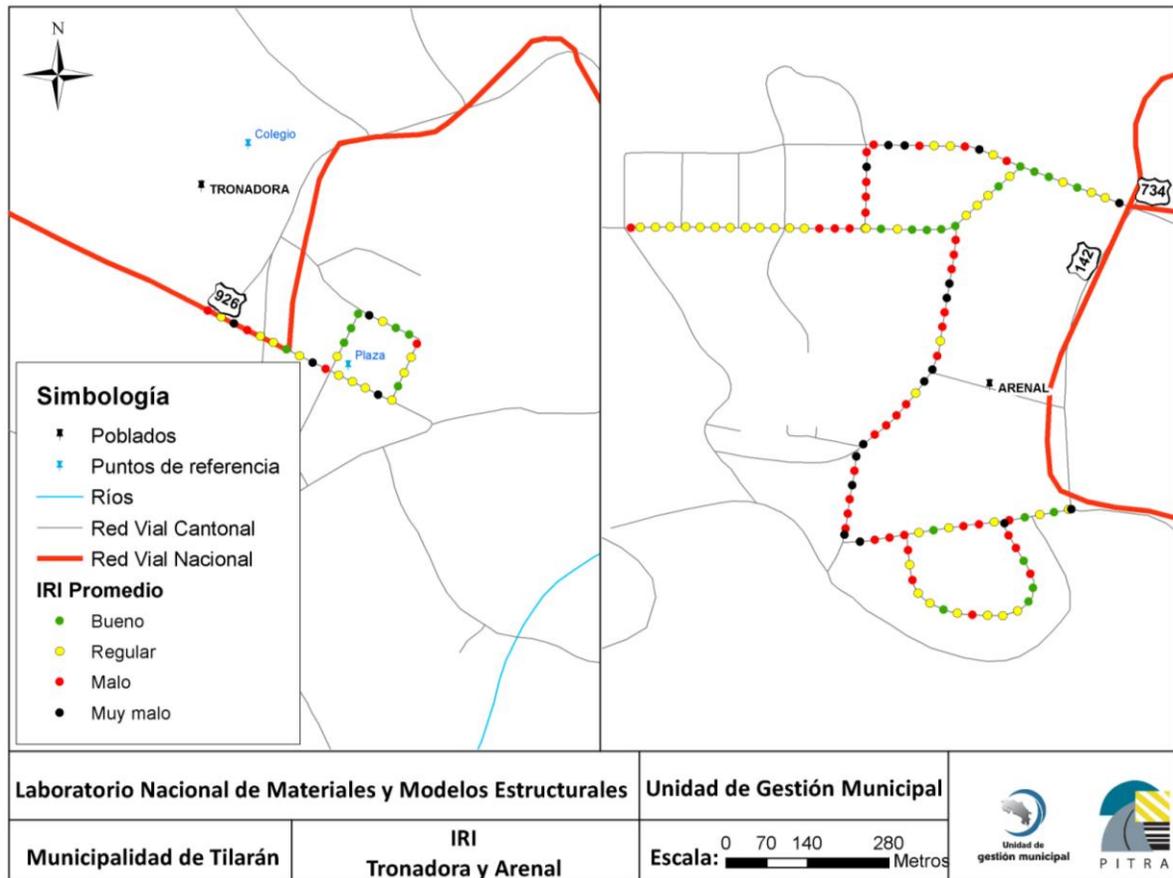


Figura 11. Condición del IRI para las localidades de Tronadora y Arenal.

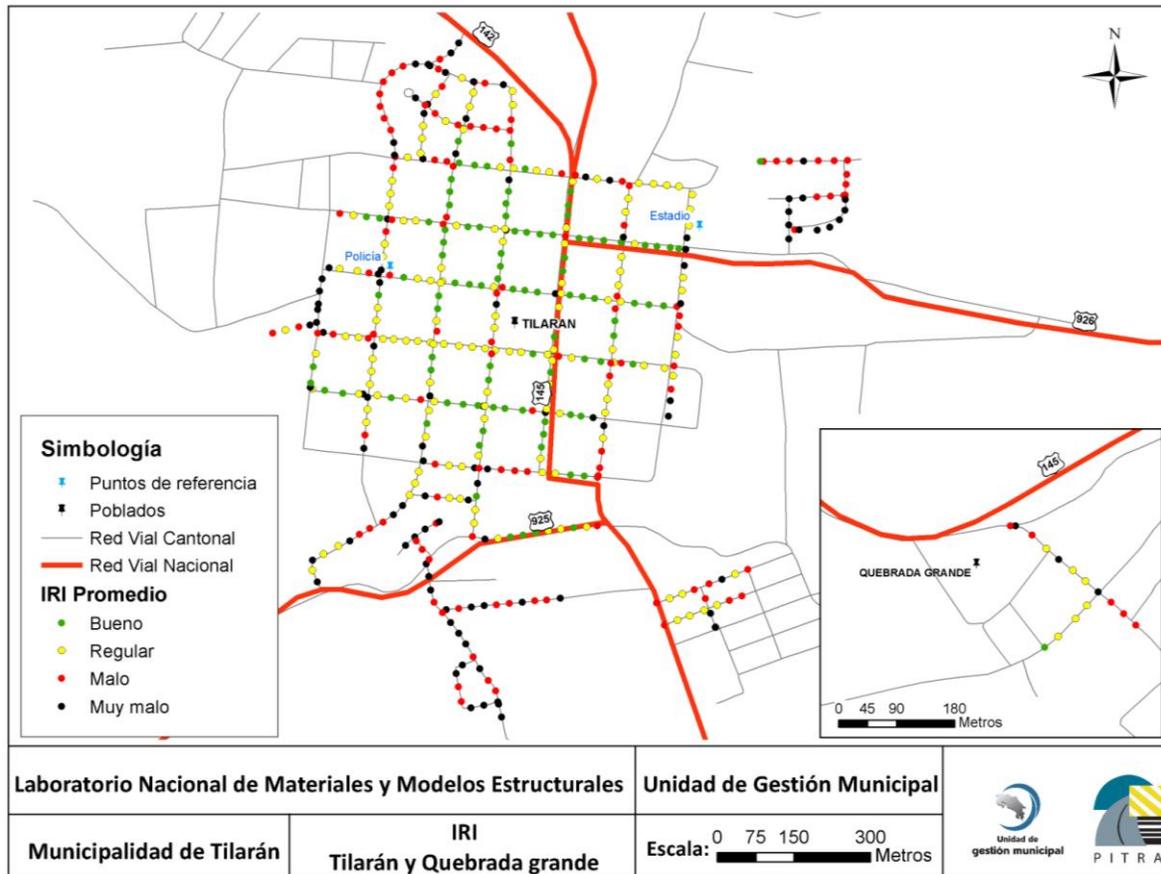


Figura 12. Condición del IRI para las localidades de Tilarán y Quebrada Grande.

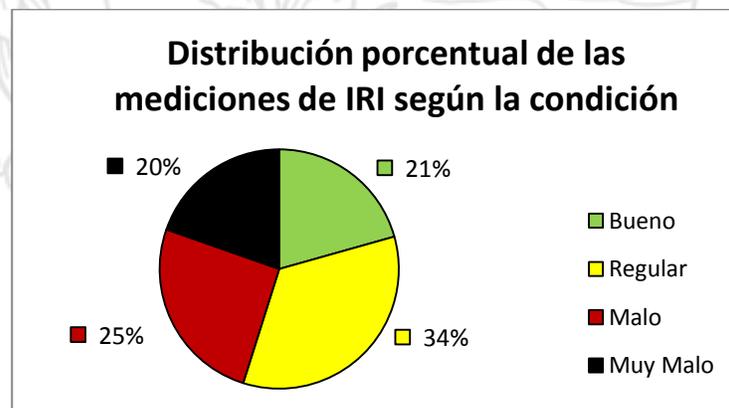


Figura 13. Distribución porcentual de la condición del IRI.

3.2.3 Identificar condición estructural

En ésta sección se mencionan los procedimientos necesarios para determinar la capacidad estructural de un pavimento. La misma está directamente relacionada con la respuesta ante las cargas a las que se ve expuesto el pavimento. Menores deflexiones implican mayor capacidad del pavimento para soportar las cargas del tránsito.

Las mediciones se realizaron con el equipo Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés), tomando mediciones cada 50 metros durante el mes de Octubre del 2010. 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 imágenes con el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.

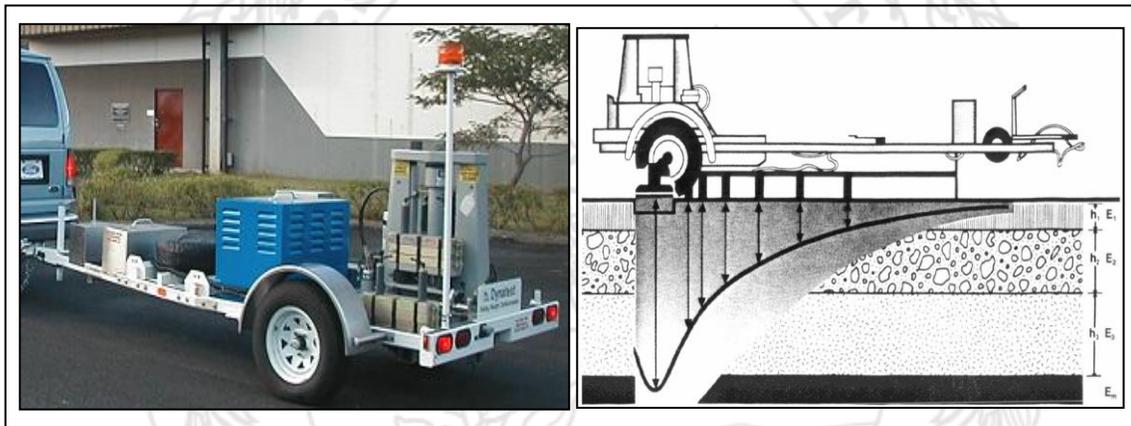


Figura 14. Equipo de deflectometría de impacto.

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 el LanammeUCR, en el cual se determinaron rangos para las diferentes deflexiones asociadas a distintas categorías de TPD dependientes del tipo de base (granular o estabilizada con cemento) que compone la estructura del pavimento. En la figura 15, se presenta la clasificación de deflectometría para una estructura de pavimento con base granular.

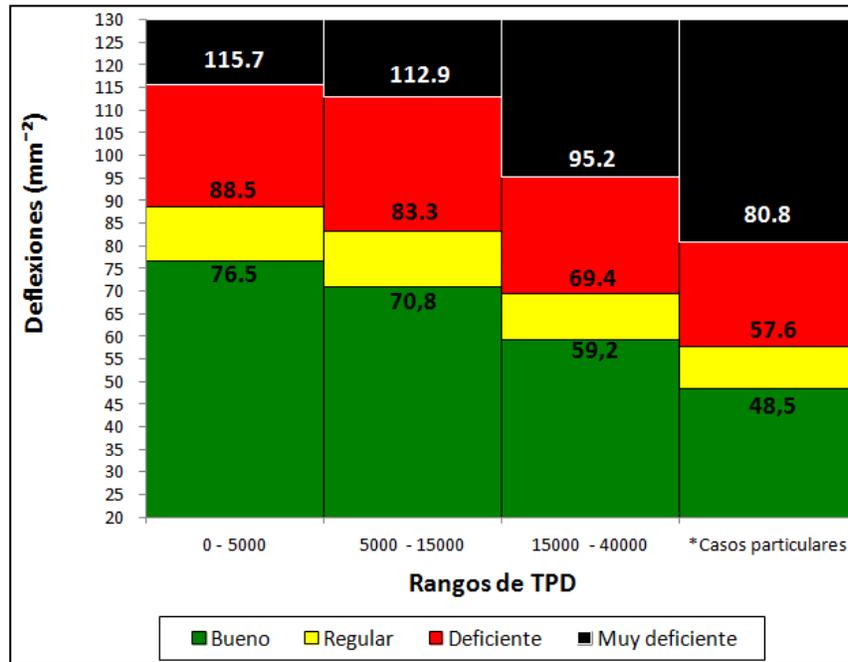


Figura 15. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base granular.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

En la figura 16, figura 17 y figura 18 es posible observar que en las zonas de Tierras Morenas y Tilarán es donde se concentran la mayor cantidad de mediciones catalogadas como "Deterioradas" o "Severamente deterioradas". En la figura 19, se muestra gráficamente como un 32% de las mediciones realizadas en el año 2010 son catalogadas como "Buenas" y solo un 11 % en condición "Regular"; mientras que un 57% de las mediciones presentan un nivel de deterioro avanzado.

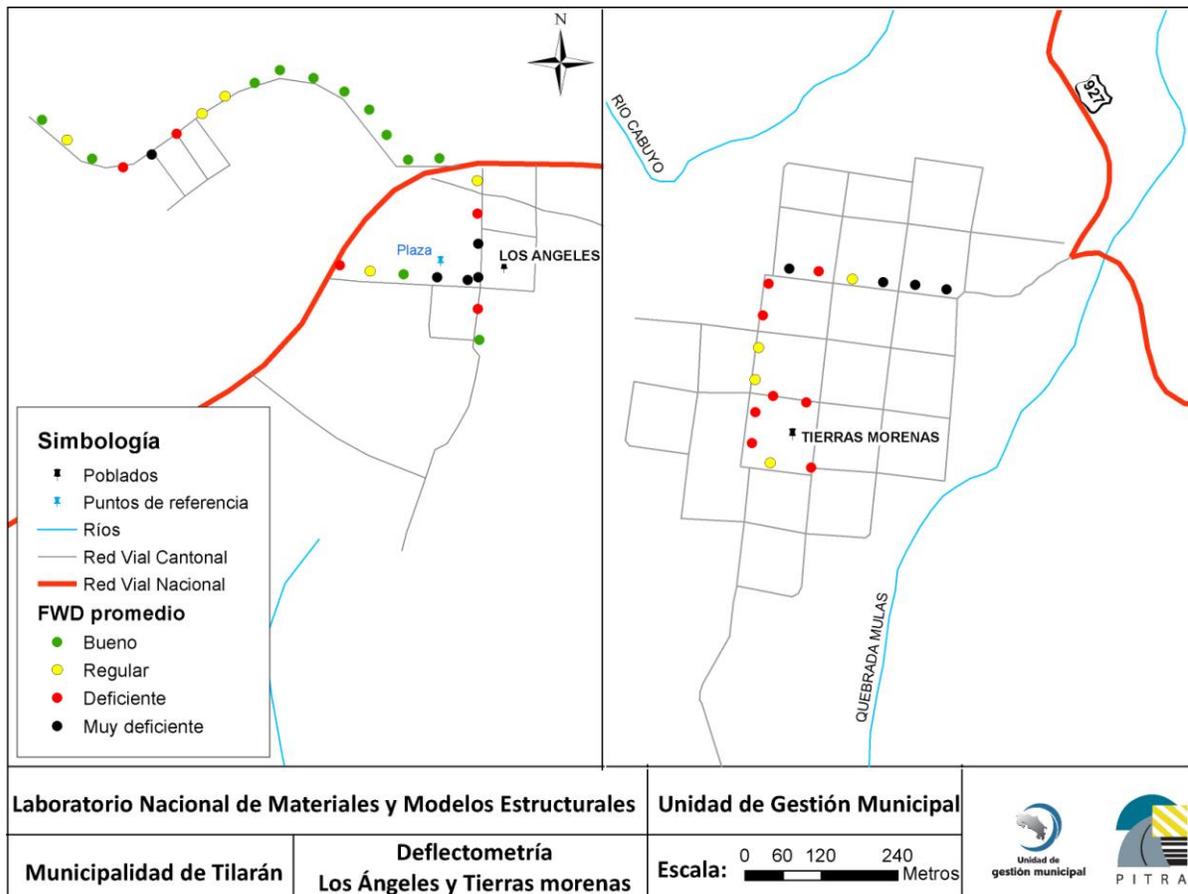


Figura 16. Condición del FWD para las localidades de Los Ángeles y Tierras Morenas.

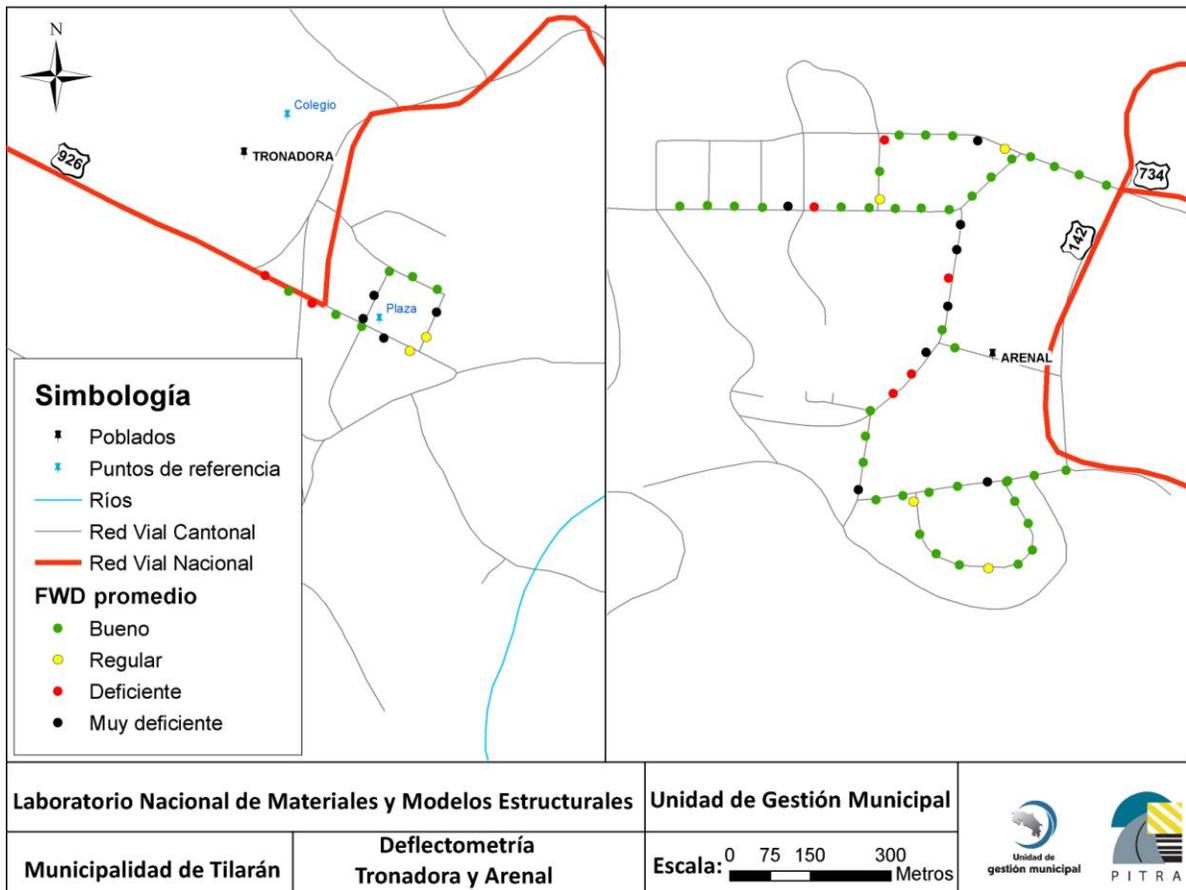


Figura 17. Condición del FWD para las localidades de Tronadora y Arenal.

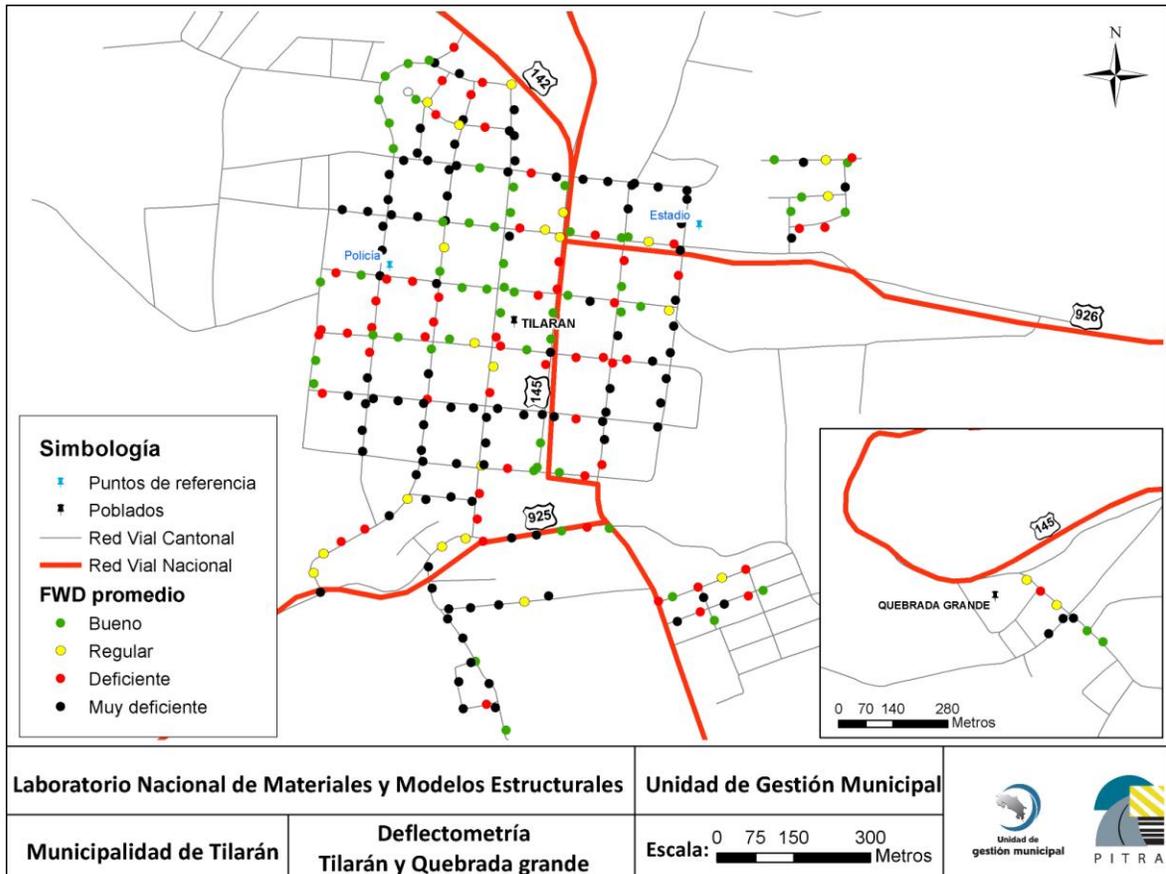


Figura 18. Condición del FWD para las localidades de Tilarán y Quebrada Grande.

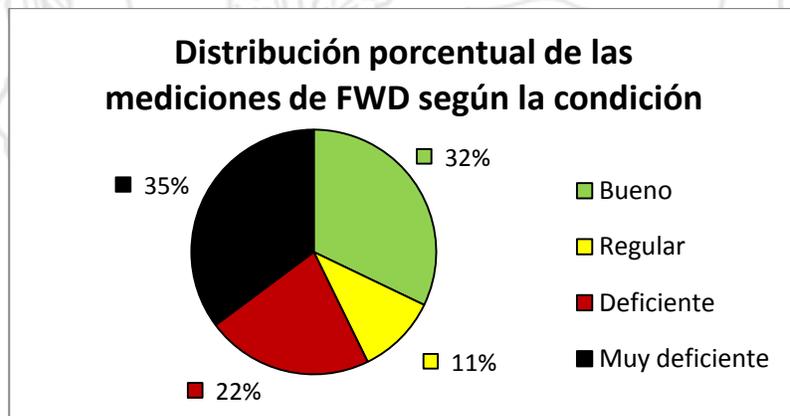


Figura 19. Distribución porcentual de la condición de FWD.

3.2.4 Caracterizar la estructura del pavimento

En esta sección se determina la estructura y el tipo de materiales que componen el pavimento. En la figura 20, se muestra un ejemplo de dicha estructura, compuesta por la capa de rodadura, base granular y capa de sub-base.

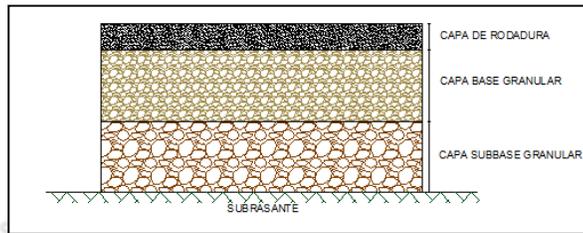


Figura 20. Ejemplo de estructura de pavimento.

La caracterización consiste en diversos ensayos de laboratorio y ensayos en campo. Se dividen en tres grupos:

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

3.2.4.1 Estructura del pavimento

Se realizaron excavaciones para determinar los espesores de las capas que componen el pavimento: superficie de rodadura, base granular o estabilizada, sub-base y sub-rasante.

Las excavaciones se realizaron en puntos estratégicos tomando en cuenta la clasificación de las vías del cantón, la deflectometría y tramos homogéneos; de tal manera, que se obtuvo un total de 16 sondeos.

En la tabla 1, se muestran los espesores obtenidos para cada una de las capas que compone la estructura del pavimento en los puntos de análisis seleccionados.

Tabla 1. Espesores de las capas del pavimento según los sondeos realizados.

Sondeo	CA (cm)	BE (cm)	BG (cm)	SB (cm)
#1	1,8	0	51	0
#2	2,2	0	18,5	19
#3	6	0	24	30
#4	3,5	0	17,1	0
#5	3,4	0	50	0
#6	3,8	0	38	0
#7	1,2	0	13,3	8,5
#8	5,3	0	17	0
#9	4,2	0	20	0
#10	2,8	0	39,5	0
#11	3,1	0	11,1	21,8
#12	1	0	19	0
#13	2	0	29	0
#14	6	0	50	0
#15	1,1	0	22,8	0
#16	1,1	0	15	0

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

CA: Capa asfáltica, tratamiento superficial o carpeta asfáltica.

BE: Base estabilizada.

BG: Base granular.

SB: Sub-base.

3.2.4.2 Caracterización de la sub-rasante

El objetivo es caracterizar la sub-rasante que compone la estructura del pavimento con mayor detalle, con el fin de poder tomar decisiones a futuro sobre las intervenciones a nivel de proyecto en los diferentes tramos de la red vial cantonal. Se realizaron ensayos de laboratorio para conocer las características de la sub-rasante que componen la estructura del pavimento.

Entre las pruebas realizadas a los materiales de las capas inferiores, se incluyen:

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Gravedad Específica



Clasificación SUCS

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

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

La distribución geográfica del tipo del suelo en la localidad de Tilarán se presenta en la figuras 21, figura 22 y figura 23. Es posible apreciar que los suelos analizados están compuestos en su mayoría por material fino SC; el cual corresponde a una arena arcillosa, un tipo de suelo con grano grueso, en el cual tiene un pobre comportamiento mecánico y de baja capacidad de drenaje.

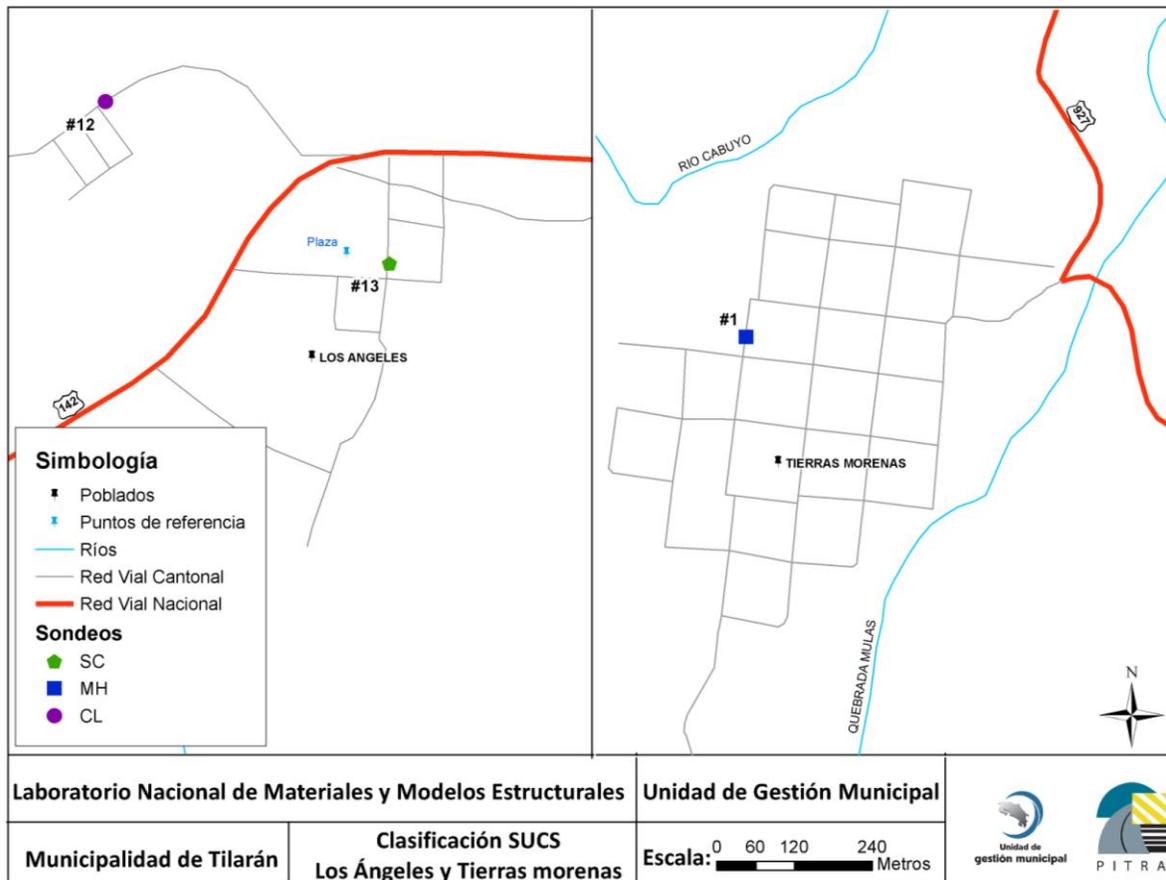


Figura 21. Caracterización según SUCS en Los Ángeles y Tierras Morenas.

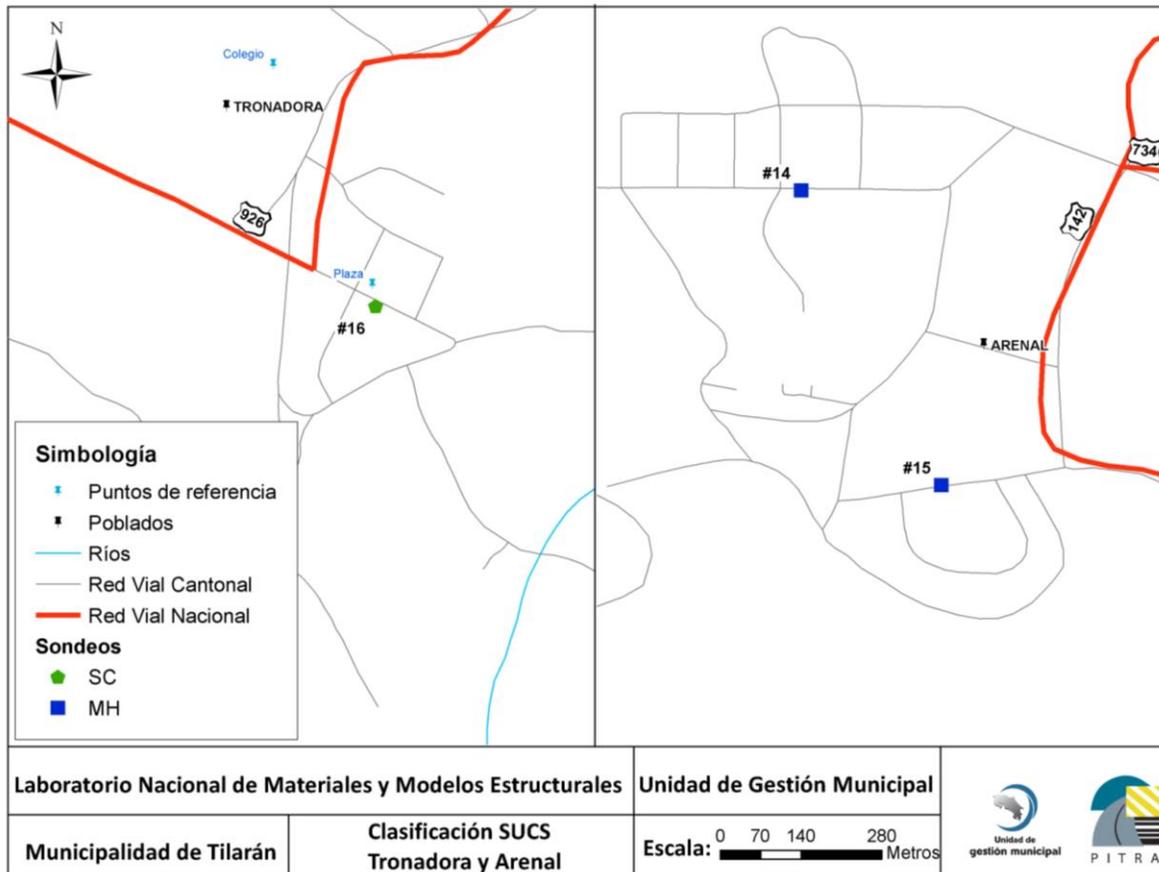


Figura 22. Caracterización según SUCS en Tronadora y Arenal.

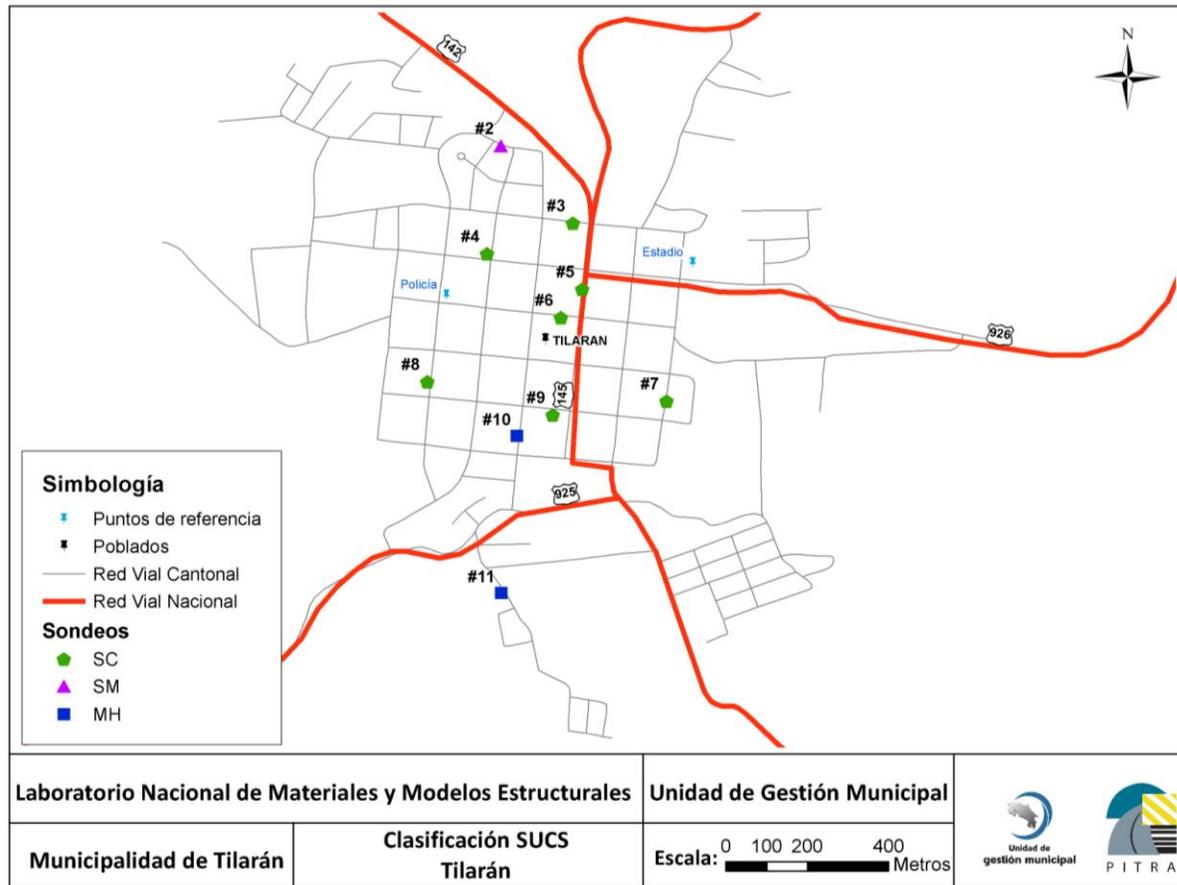


Figura 23. Caracterización según SUCS en Tilarán.

Clasificación AASHTO

Se realizó la clasificación del suelo según la metodología AASHTO, la cual analiza el suelo como material para carreteras. La descripción general del tipo de suelos, según esta clasificación, es tomada de las normas técnicas utilizadas para realizar ensayos de laboratorio en la Escuela de Ingeniería Civil de La Universidad Nacional de Colombia:

Materiales granulares: Contienen 35% o menos de material que pase el tamiz de 75 μm (#200).

- Grupo A-1: El material típico de este grupo es una mezcla bien graduada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina, y un ligante de suelo no

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

- Subgrupo A-1-a: Incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de fragmentos de roca o grava con o sin un ligante bien graduado de material fino.
- Subgrupo A-1-b: Incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de arena gruesa con o sin un ligante de suelo bien graduado.
- Grupo A-3: El material típico de este grupo es la arena fina de playa o la arena fina de desierto, sin finos de arcilla, limo o con una pequeña cantidad de limo no plástico. Este grupo también incluye las mezclas aluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa y grava.
- Grupo A-2: Este grupo incluye una amplia variedad de materiales granulares, que se encuentran en el límite entre los materiales que se clasifican en los grupos A-1 y A-3, y los materiales tipo limo y arcilla que se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Incluye todos los materiales que contienen 35% o menos de material que pasa el tamiz de 75 μm (#200) que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 o A-3, debido al contenido de finos o a los índices de plasticidad, o ambos, por encima de las limitaciones de estos grupos.
 - Los subgrupos A-2-4 y A-2-5 incluyen varios materiales granulares que contienen 35% o menos de material que pasa el tamiz de 75 μm (#200) y con una porción que pasa el tamiz de 425 μm (#40) que tiene las características de los grupos A-4 y A-5, respectivamente. Estos grupos comprenden materiales tales como grava y arena gruesa con contenidos de limo e IP por encima de las limitaciones del grupo A-1, y arena fina con un contenido de limo no plástico por encima de las limitaciones del grupo A-3.



- Los subgrupos A-2-6 y A-2-7 incluyen materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5 excepto en que la porción fina contiene arcilla plástica que tiene las características de los grupos A-6 y A-7, respectivamente.

Material limo-arcilloso: contiene más de 35% de material que pasa la malla de 75 μm (#200).

- Grupo A-4: El material típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene el 75% o más de material que pasa el tamiz de 75 μm (#200). Este grupo también incluye mezclas de suelo limoso fino y hasta 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz de 75 μm (#200).
- Grupo A-5: El material típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que usualmente tiene un carácter diatomáceo o micáceo y puede ser muy elástico, como lo indica su alto LL.
- Grupo A-6: El material típico de este grupo es una arcilla plástica que usualmente tiene el 75% o más del material que pasa el tamiz de 75 μm (#200). Este grupo también incluye mezclas de suelo arcilloso y hasta el 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz #200. Los materiales de este grupo normalmente presentan grandes cambios de volúmenes entre los estados seco y húmedo.
- Grupo A-7: El material típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene el LL elevado, característico del grupo A-5, y puede presentar elasticidad o alto potencial de expansión.
 - Subgrupo A-7-5: Incluye materiales con IP moderados en relación con el LL y que pueden presentar un alto potencial de expansión.
 - Subgrupo A-7-6: Incluyen materiales con un alto IP en relación con el LL y presentan un alto potencial de expansión.

Suelos orgánicos: como su nombre lo indica, son suelos orgánicos, incluida la turba, pueden clasificarse en el grupo A8. La clasificación de estos materiales se basa en la inspección visual y no depende del porcentaje que pasa por el tamiz de 75 μm (#200), el LI y el IP. El material se compone en su mayoría de materia orgánica parcialmente descompuesta; y por

lo general tiene una textura fibrosa, un color negro o pardo oscuro y olor a descomposición. Estos materiales orgánicos son inadecuados para su utilización en terraplenes y subrasantes. Tales materiales son altamente compresibles y tienen una baja resistencia al corte.

La distribución de tipo de suelo según la clasificación de la AASHTO, puede observarse en la figura 24, figura 25 y figura 26. Es de apreciar que la mitad de las muestras de los suelos corresponden a una clasificación A-7-5, que corresponde a materiales finos arcillosos con un límite líquido alto y gran potencial de expansión, y por ende de acuerdo a su calidad se encuentran ubicados en una categoría de aceptable a mala.

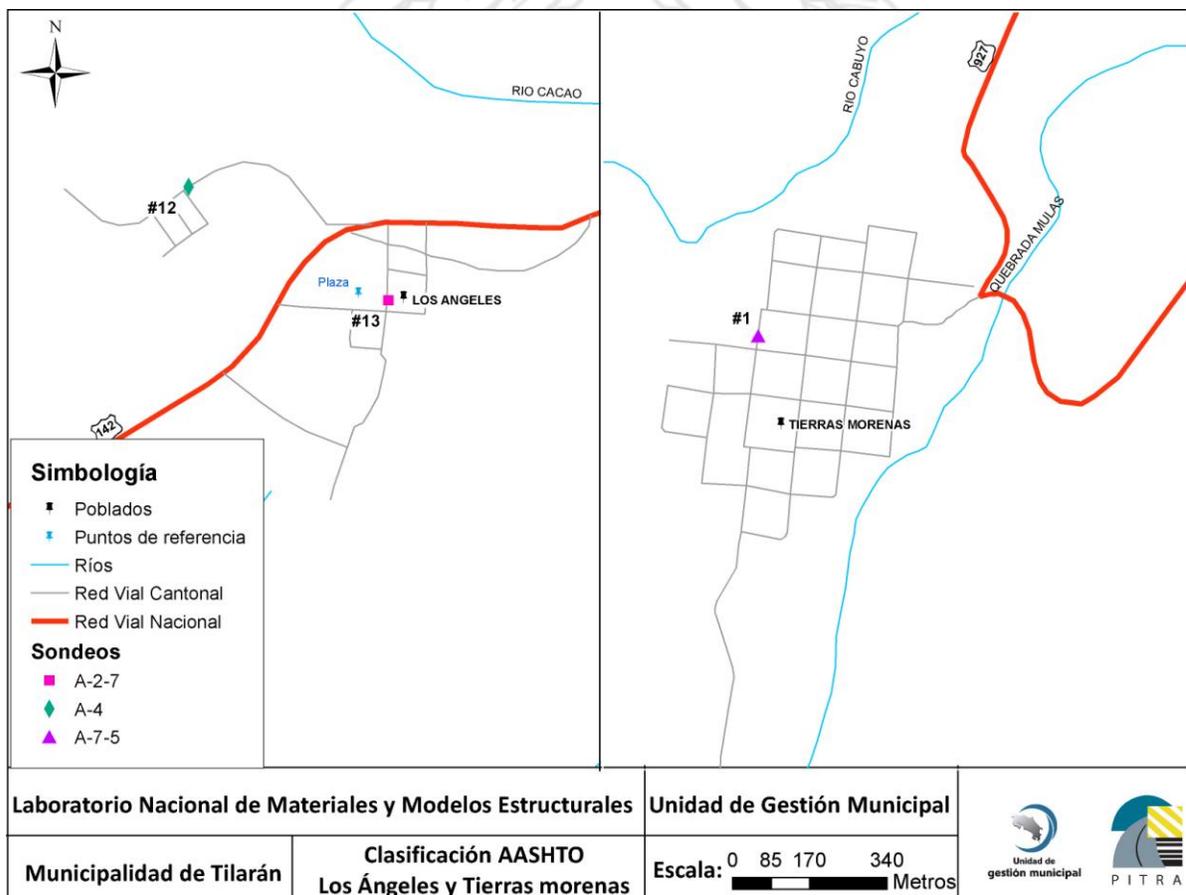


Figura 24. Caracterización según AASHTO en la localidad de Los Ángeles y Tierras Morenas.

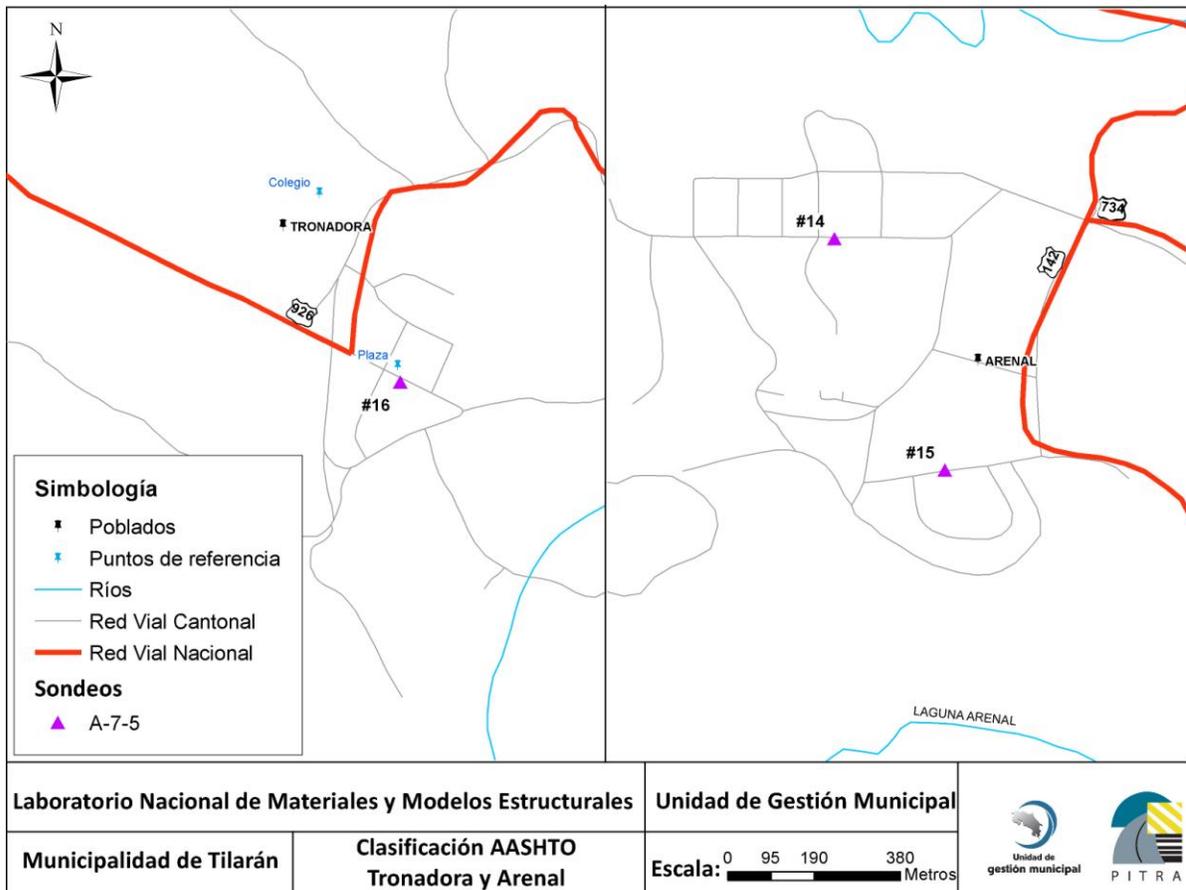


Figura 25. Caracterización según AASHTO en la localidad de Tronadora y Arenal.

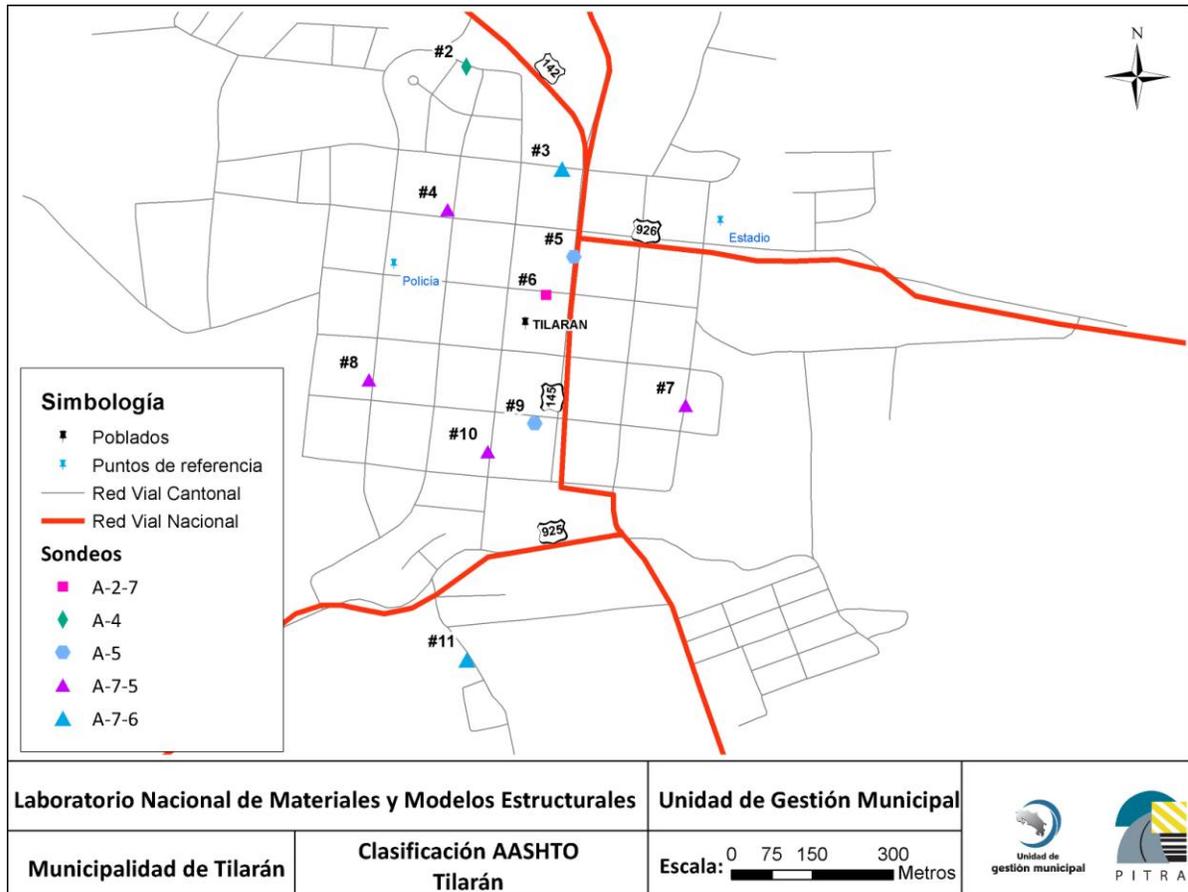


Figura 26. Caracterización según AASHTO en la localidad de Tilarán.

En la tabla 2, puede observarse el detalle de la clasificación de suelos, según los ensayos de laboratorio realizados por el LanammeUCR en el año 2010, así como la información referente a la granulometría y los límites de Atterberg.

Tabla 2. Clasificación del tipo de suelo de la sub-rasante en los sondeos realizados.

Sondeo	Porcentaje Pasando				FG	FS	CF	LL	LP	SUCS	AASHTO	AASHTO
	N°4	N°10	N°40	N°200								
#1	100	100	94,1	80,59	0	19,41	80,59	56	30	MH	A-7-5	A-7-5 (23)
#2	100	100	71,83	44,64	0	55,36	44,64	37	32	SM	A-4	A-4 (0)
#3	100	100	78,81	35,58	0	64,42	35,58	42	30	SC	A-7-6	A-7-6 (1)
#4	100	100	75,76	36,72	0	63,28	36,72	48	37	SC	A-7-5	A-7-5 (1)
#5	100	100	81,97	37,75	0	62,25	37,75	42	33	SC	A-5	A-5 (0)
#6	100	100	75,44	32,94	0	67,06	32,94	55	44	SC	A-2-7	A-2-7 (0)
#7	100	100	71,67	38,78	0	61,22	38,78	51	37	SC	A-7-5	A-7-5 (2)
#8	100	100	80,42	42,24	0	57,76	42,24	74	49	SC	A-7-5	A-7-5 (7)
#9	100	100	80,67	42,64	0	57,36	42,64	65	57	SC	A-5	A-5 (2)
#10	100	100	83,36	51,96	0	48,04	51,96	69	56	MH	A-7-5	A-7-5 (7)
#11	100	100	87,35	66,89	0	33,11	66,89	51	29	MH	A-7-6	A-7-6 (14)
#12	100	100	93,53	83,69	0	16,31	83,69	26	18	CL	A-4	A-4 (5)
#13	100	100	75,88	33,13	0	66,87	33,13	54	28	SC	A-2-7	A-2-7 (2)
#14	100	100	84,51	61,27	0	38,73	61,27	85	64	MH	A-7-5	A-7-5 (16)
#15	100	100	96,92	92,65	0	7,35	92,65	74	42	MH	A-7-5	A-7-5 (38)
#16	100	100	77,99	47,92	0	52,08	47,92	78	59	SC	A-7-5	A-7-5 (8)

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

FG: Fracción gruesa.

FS: Fracción arena.

CF: Cantidad de finos.

Gs: Gravedad específica.

LL: Límite Líquido.

LP: Límite Plástico.

N°4: Tamiz N° 4, 750 mm de diámetro.

N°10: Tamiz N°10, 2.000 mm de diámetro.

N°40: Tamiz N°40, 0.425 mm de diámetro.

N°200: Tamiz N°200, 0.075 mm de diámetro.

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

3.2.4.3 Clasificación de sub-rasante según CBR

En esta sección se analiza la red vial cantonal considerando el valor de CBR obtenido en sitio. El mismo proporciona un índice de la resistencia de la capa de la sub-rasante para resistir carga, en la figura 27 se muestra la prueba realizada en sitio.



Figura 27. Prueba de CBR en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

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

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

Donde:

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

La clasificación utilizada para categorizar los valores de CBR es establecida por J. Bowles (1981), y se presenta en el tabla 3.

Tabla 3. Clasificación del CBR.

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

Fuente: Bowles, J. 1981.

En la figura 28, figura 29 y figura 30 puede observarse la distribución del los CBR obtenidos en los diferentes sitios de sondeo. Es importante mencionar que en dos de los 16 sondeos (sondeos #10 y #14, específicamente) no se tiene el valor de CBR ya que no se dispone del índice de cono. Además, un 93% de los suelos de sub-rasantes en las que se analizó el CBR en sitio, son clasificados en la categoría de entre "Pobre a regular", estos poseen mediciones entre un 3% y 6%; y como se muestra en la figura 30, en Tilarán sólo para un sondeo se obtuvo un valor de CBR superior a 7%, dentro de la categoría de "Regular".

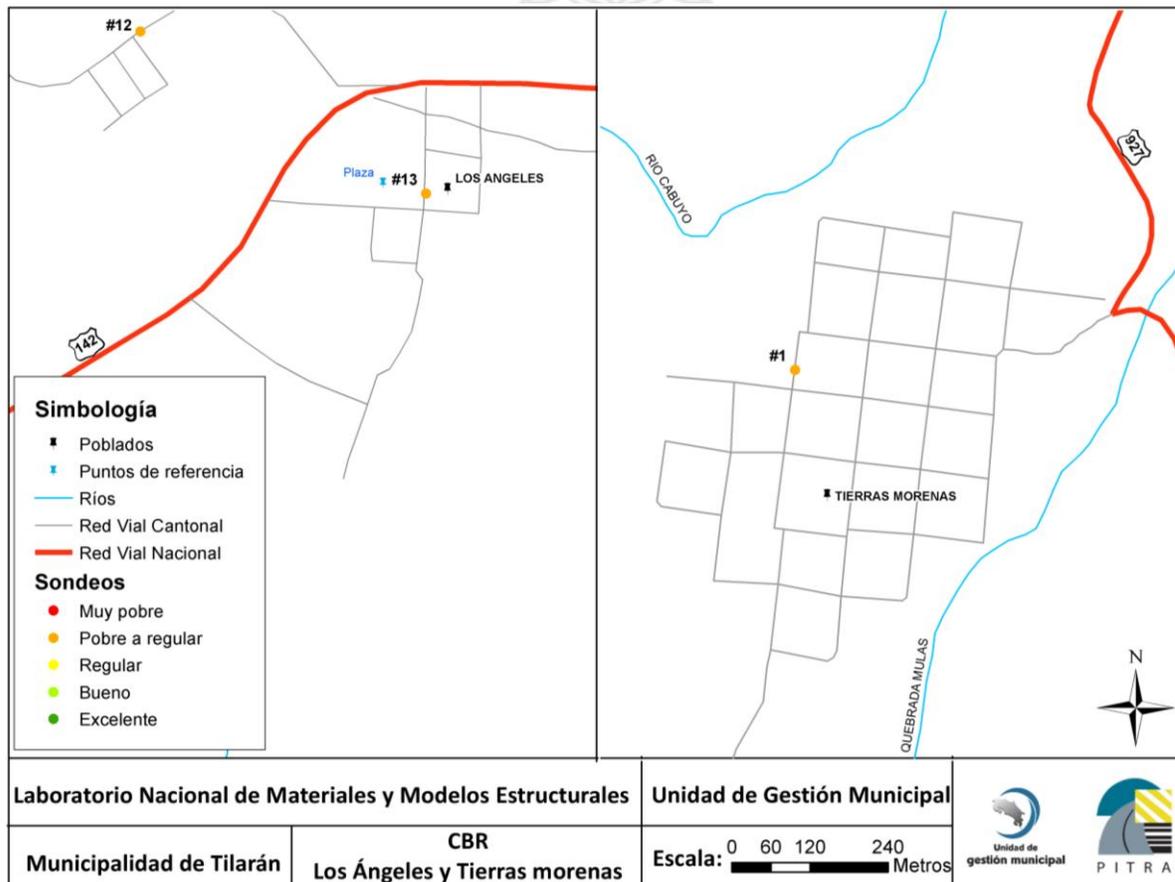


Figura 28. Clasificación del CBR según Bowles, en Los Ángeles y Tierras Morenas.

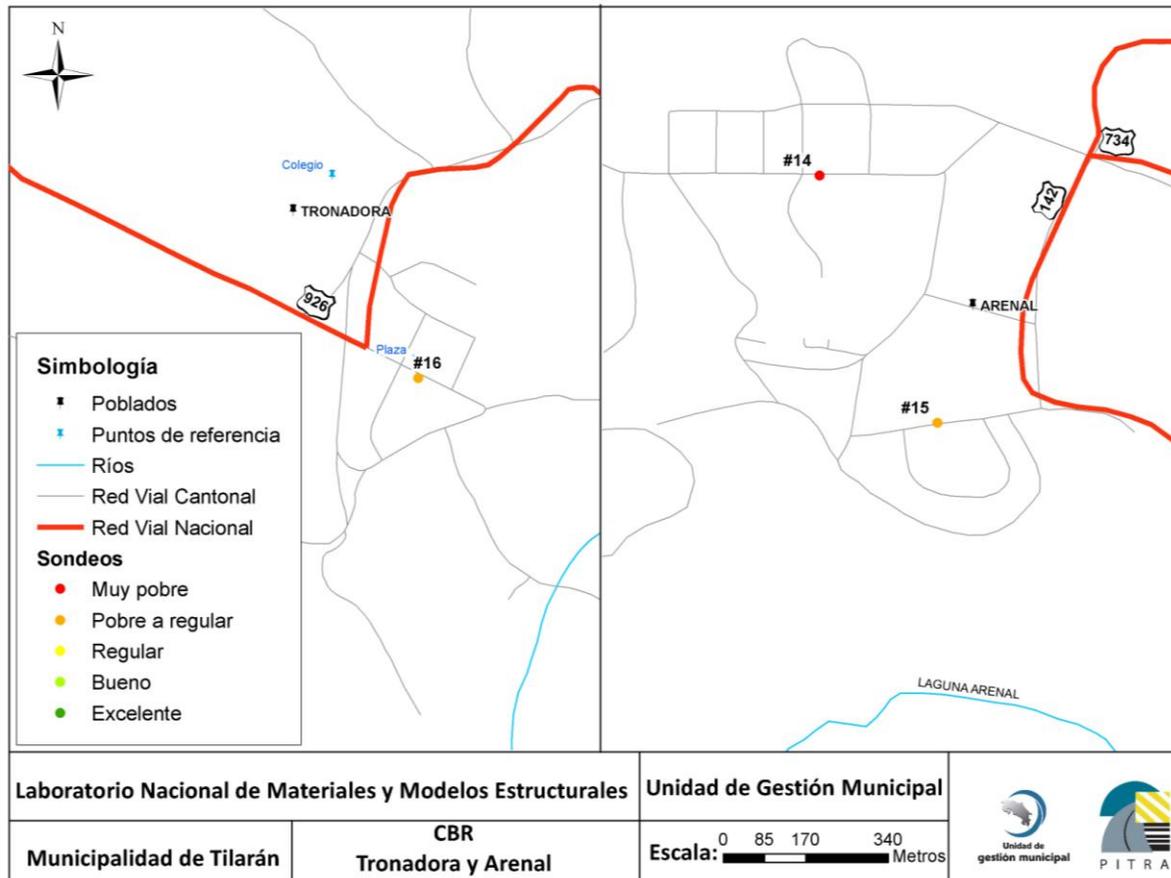


Figura 29. Clasificación del CBR según Bowles, en Tronadora y Arenal.

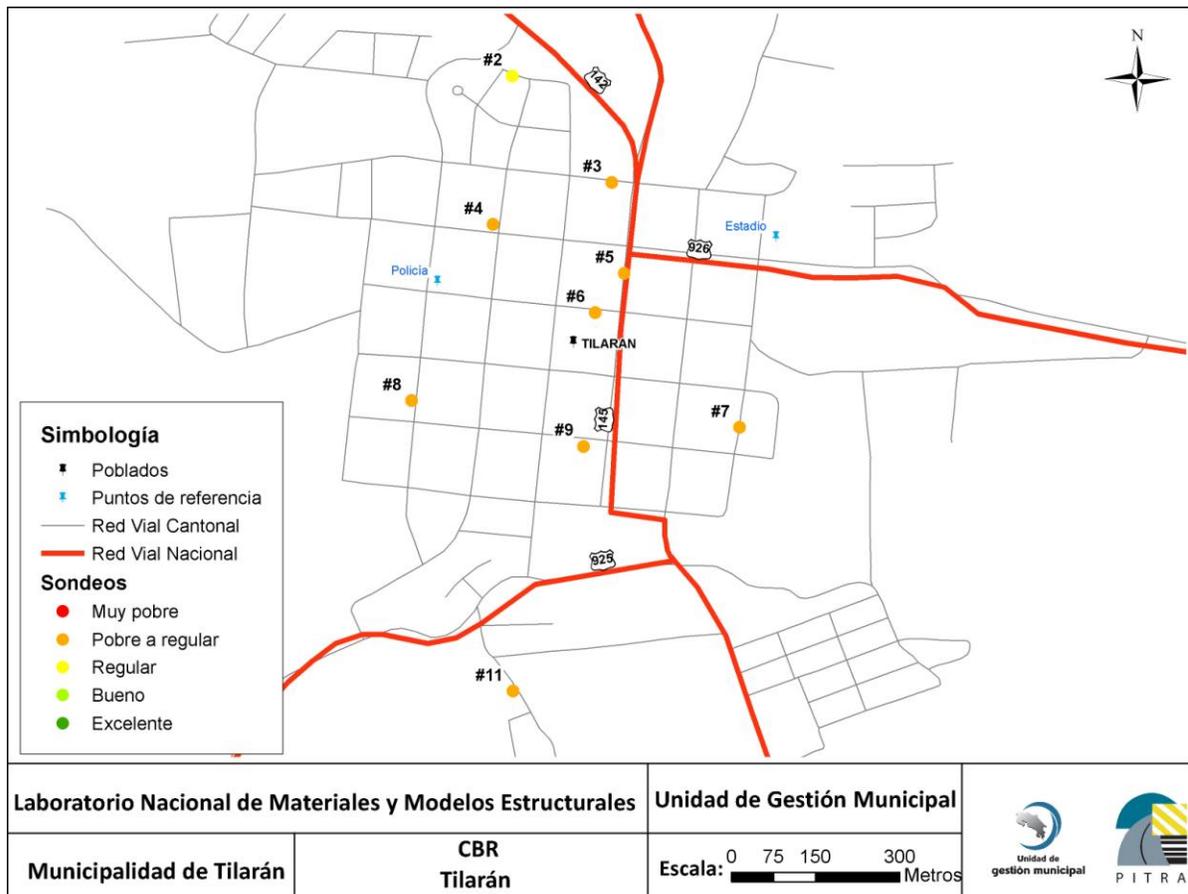


Figura 30. Clasificación del CBR según Bowles, en Tilarán.

En la tabla 4, se puede observar en detalle las pruebas de CBR en sitio, así como los diferentes parámetros utilizados para estimar el valor de CBR.

Tabla 4. Índice de resistencia CBR.

Sondeo	CI	a	b	CBR
#1	209,7	0,082	0,7174	3,8
#2	687,6	0,1111	0,739	13,9
#3	115,6	0,1111	0,739	3,7
#4	207,9	0,1111	0,739	5,7
#5	204	0,1111	0,739	5,7
#6	161,6	0,1305	0,6776	4,1
#7	216,3	0,1305	0,6776	5,0
#8	107,5	0,1305	0,6776	3,1
#9	173,2	0,1305	0,6776	4,3
#10	-	0,082	0,7174	-
#11	219,9	0,082	0,7174	3,9
#12	223,3	0,1266	0,6986	5,5
#13	126	0,1264	0,6979	3,7
#14	-	0,082	0,7174	-
#15	207,6	0,082	0,7174	3,8
#16	138,7	0,1305	0,6776	3,7

3.2.5 Definir tramos homogéneos

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

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

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

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

En el estudio realizado para la Municipalidad de Tilarán se obtuvo 46 tramos homogéneos a partir de aproximadamente 17 km evaluados; a continuación en la tabla 5, se presenta el número de tramo y la longitud aproximada en metros para los tramos ubicados en la zona; además, en la figura 31, figura 32 y figura 33 se muestra su ubicación en la red vial cantonal.

Tabla 5. Longitud de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Tilarán.

Tramo	Longitud (m)	Tramo	Longitud (m)
1	513	24	432
2	195	25	581
3	383	26	233
4	347	27	130
5	233	28	486
6	383	29	276
7	814	30	451
8	328	31	609
9	309	32	1277
10	252	33	413
11	231	34	602
12	327	35	464
13	186	36	148
14	213	37	676
15	316	38	408
16	584	39	243
17	238	40	147
18	252	41	282
19	448	42	238
20	265	43	277
21	195	44	96
22	581	45	391
23	262	46	307

En la figura 33, se presentan los tramos 4, 5 y 29, que si bien también fueron analizados con la metodología planteada anteriormente, se debe hacer mención de que están sobre la Red Vial Nacional.

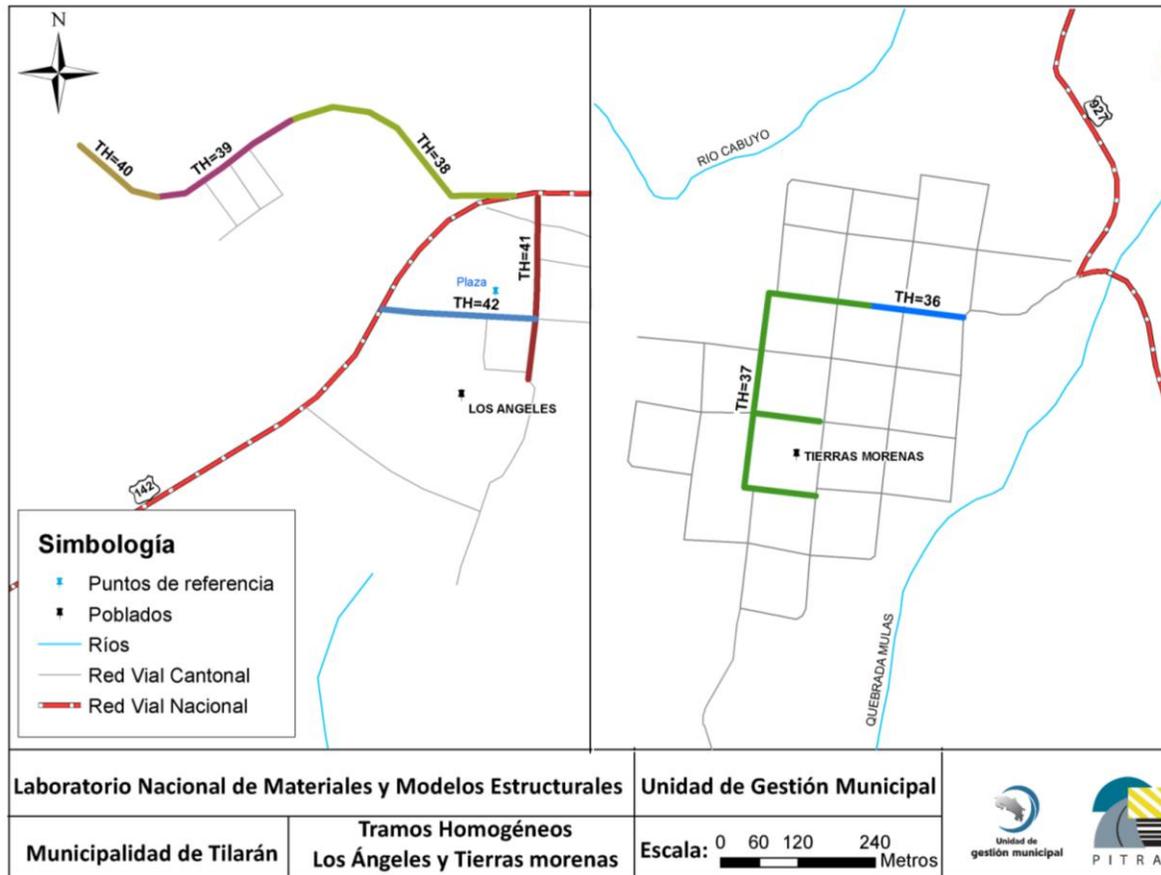


Figura 31. Ubicación de diferentes tramos homogéneos en Los Ángeles y Tierras Morenas.

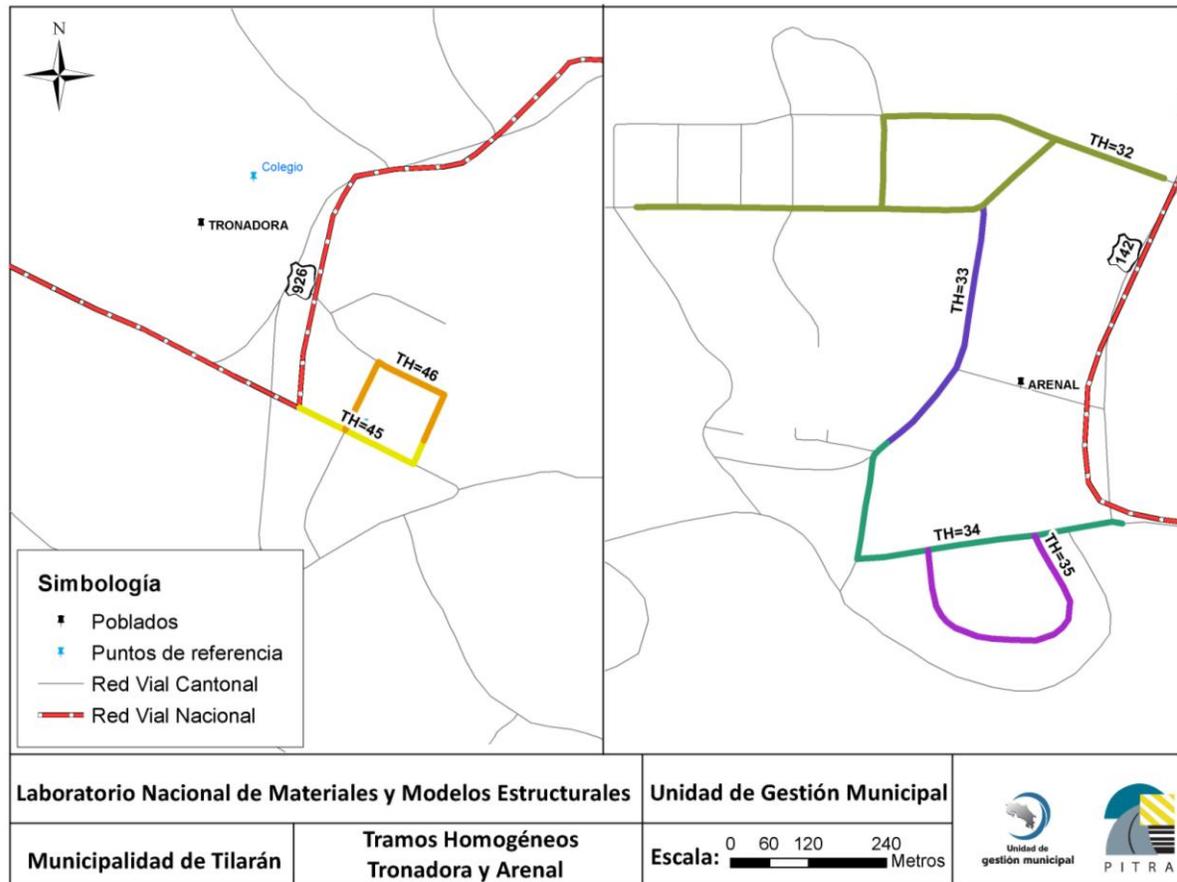


Figura 32. Ubicación de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Tronadora y Arenal.

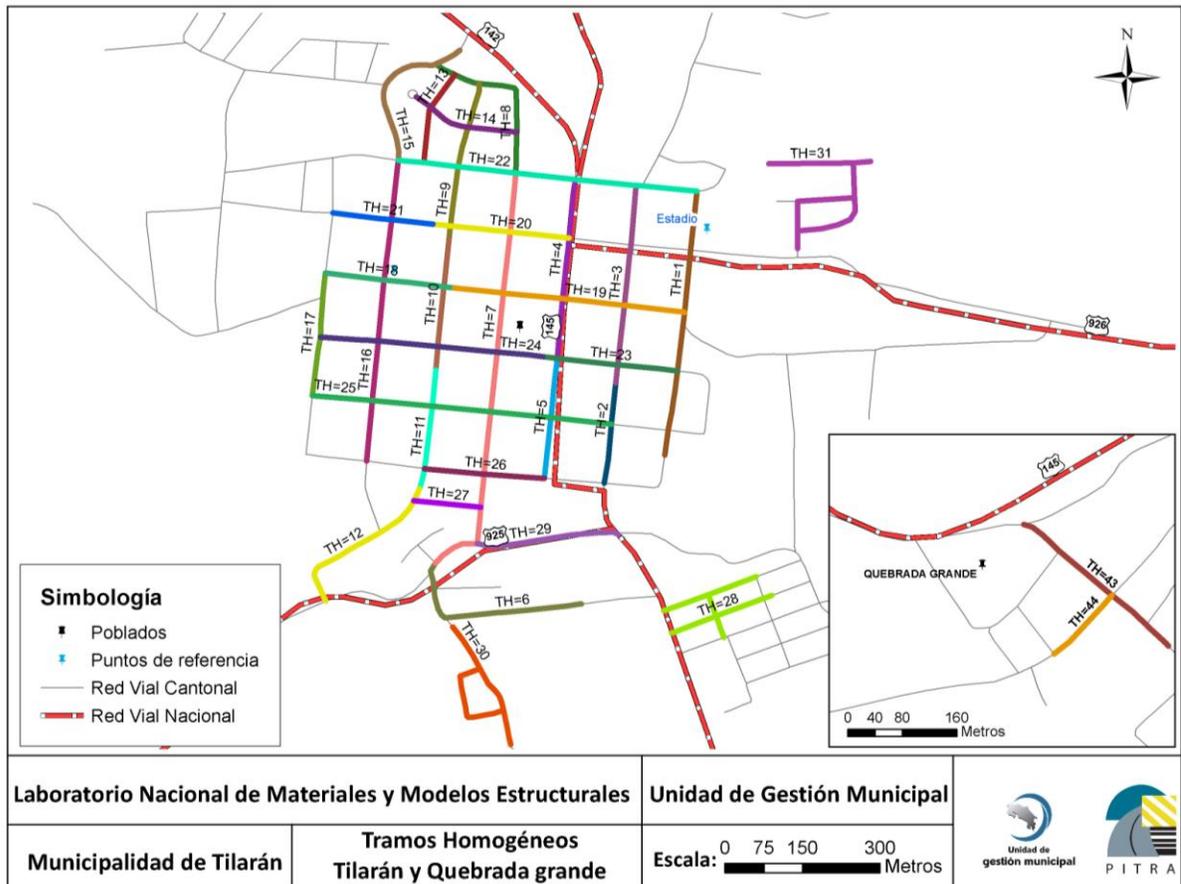


Figura 33. Ubicación de diferentes tramos homogéneos ubicados en Tilarán.

Es importante aclarar que los valores promedio asociados a cada tramo ofrecen una idea de la condición general del mismo para el año 2010, ya que a cada tramo se le asocia cierta dispersión producto de la variabilidad de la evaluación del IRI o la deflectometría.

3.2.5.1 Deflexión Promedio

Para categorizar el estado estructural de cada tramo homogéneo también se utiliza la clasificación que se presenta en la figura 15, 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 figuras 34, figura 35 y figura 36, se muestra de manera gráfica el valor de la deflectometría promedio (FWD promedio) para cada uno de los tramos homogéneos, según las deflexiones medidas en el año 2010.

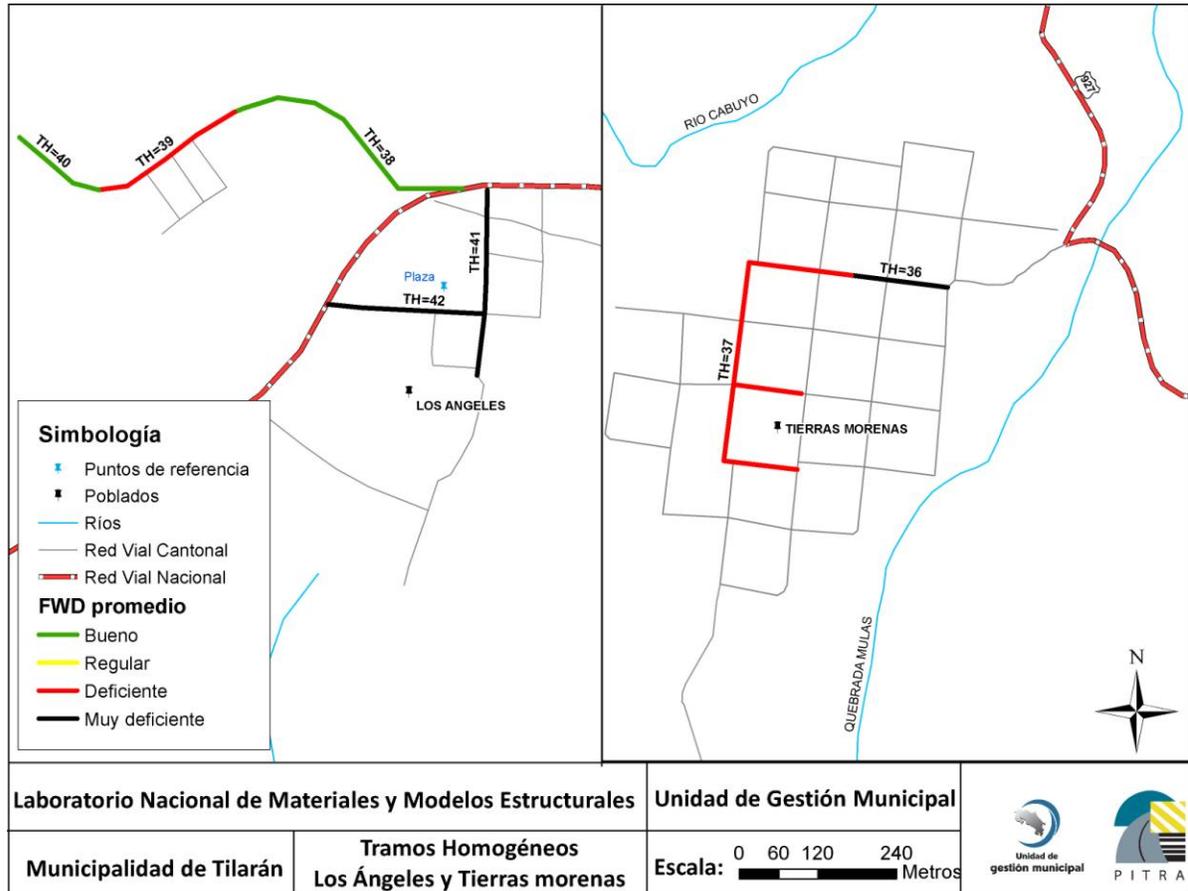


Figura 34. Deflectometría promedio de las vías analizadas en Los Ángeles y Tierras Morenas.

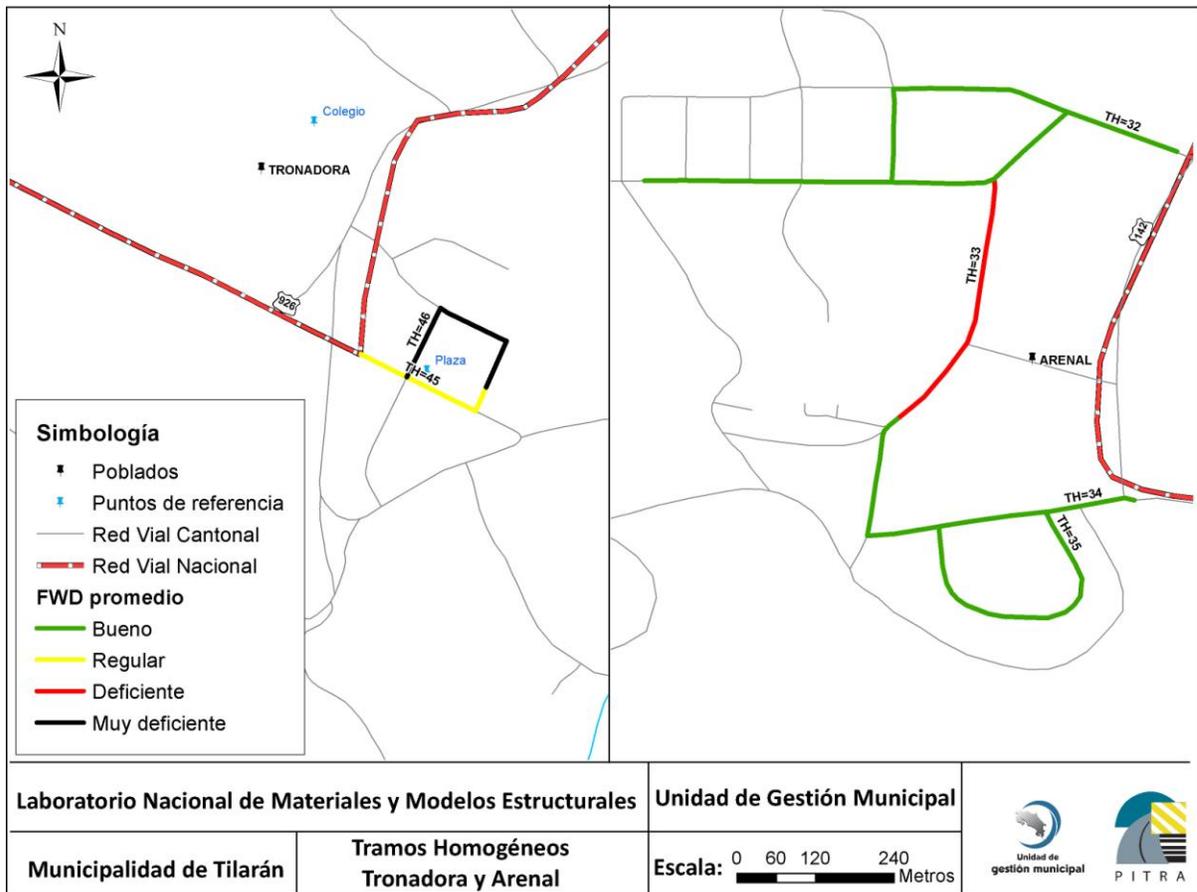


Figura 35. Deflectometría promedio de las vías analizadas en Tronadora y Arenal.

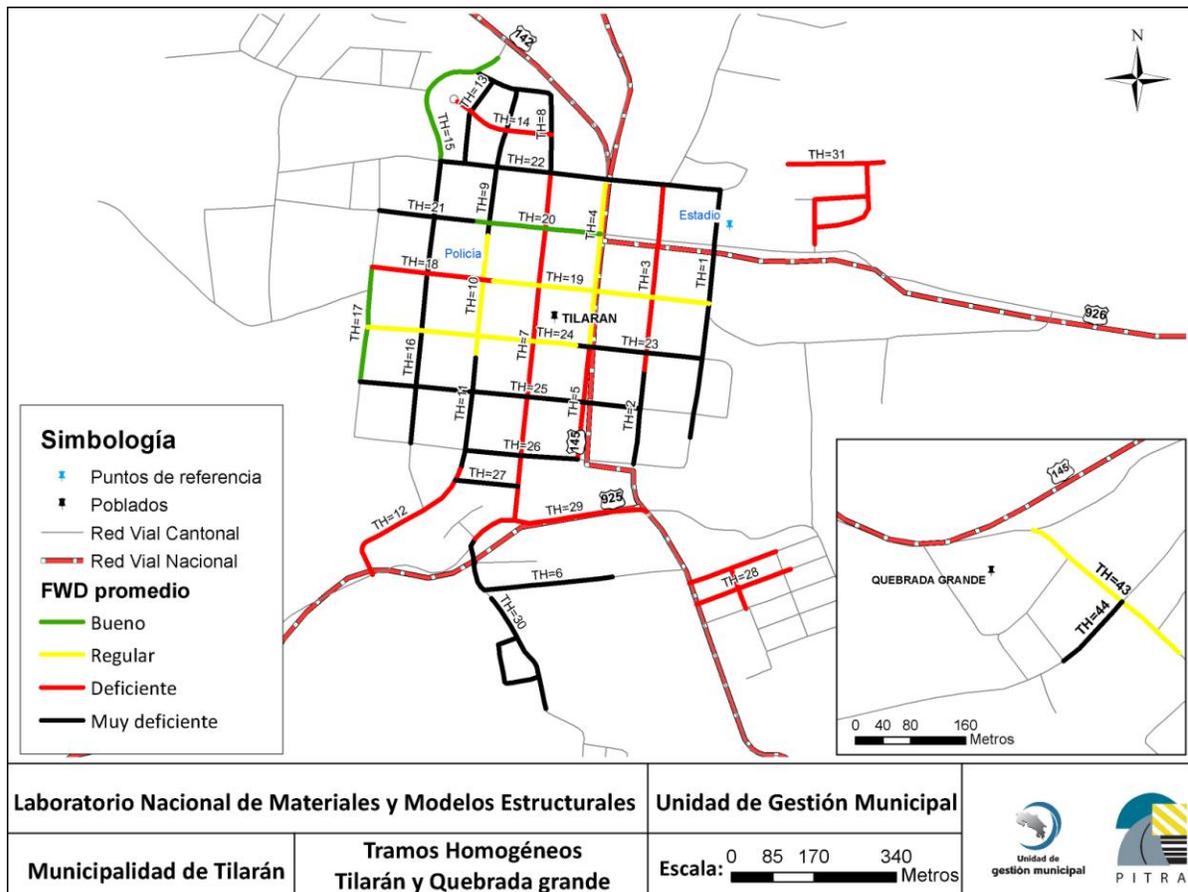


Figura 36. Deflectometría promedio de las vías analizadas en Tilarán y Quebrada Grande.

Para cada categoría de condición estructural se realiza un análisis en el que se determina la cantidad de metros lineales y la cantidad de tramos homogéneos asociados, los cuales se sintetizan en la figura 37 y figura 38.

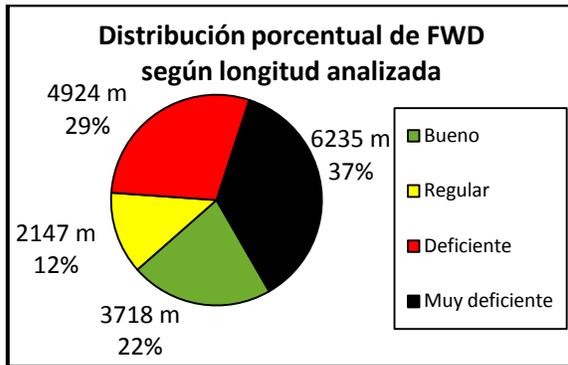


Figura 37. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio.

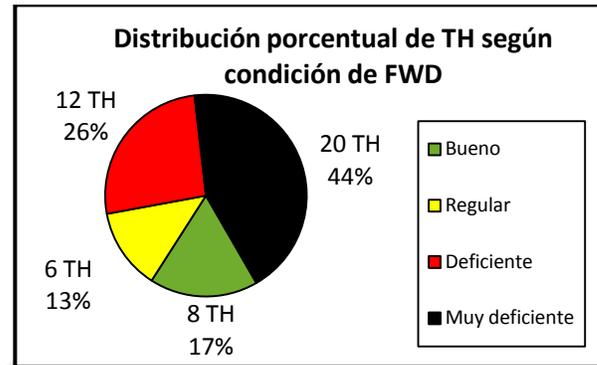


Figura 38. Porcentaje de tramos clasificados según el FWD promedio.

En la figura 37 y la figura 38, es posible observar que en el año 2010, un 66% (11,2 km, aproximadamente) de la longitud de los tramos evaluados posee una estructura del pavimento con un nivel de deterioro importante (pertenecientes a las categorías "deficiente" y "muy deficiente") y por lo consiguiente una baja capacidad para soportar las cargas de tránsito a las que se ve sometida; esto corresponde a 32 tramos homogéneos de los 46 generados. Por otro lado, se rescata que un 17% de los tramos homogéneos evaluados, cuenta con una buena capacidad estructural, lo que representa 3,7 km de las rutas evaluadas en Tilarán.

3.2.5.2 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 las rutas en este estudio presentan un deterioro avanzado en la condición superficial. En la figura 39, figura 40 y figura 41, es posible visualizar la condición del IRI promedio para los diferentes tramos.

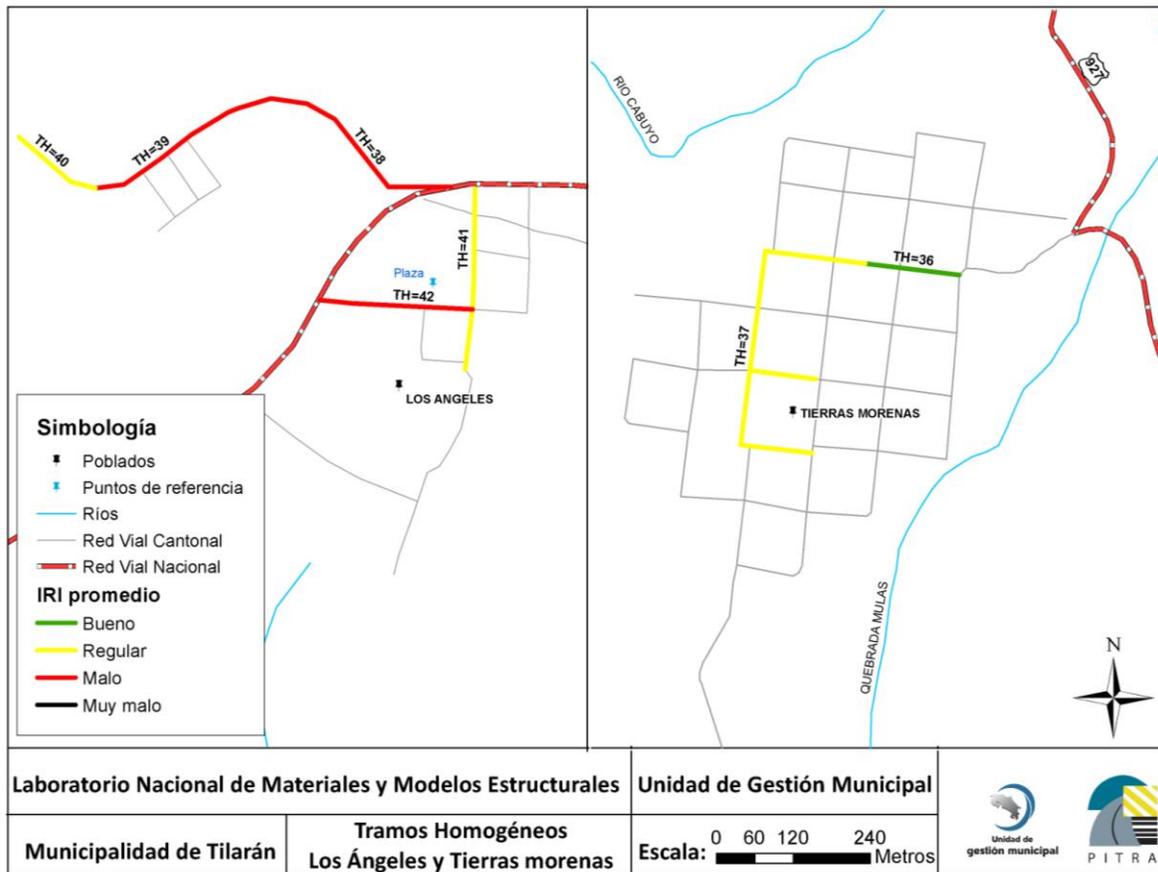


Figura 39. IRI promedio para las vías analizadas en Los Ángeles y Tierras Morenas.

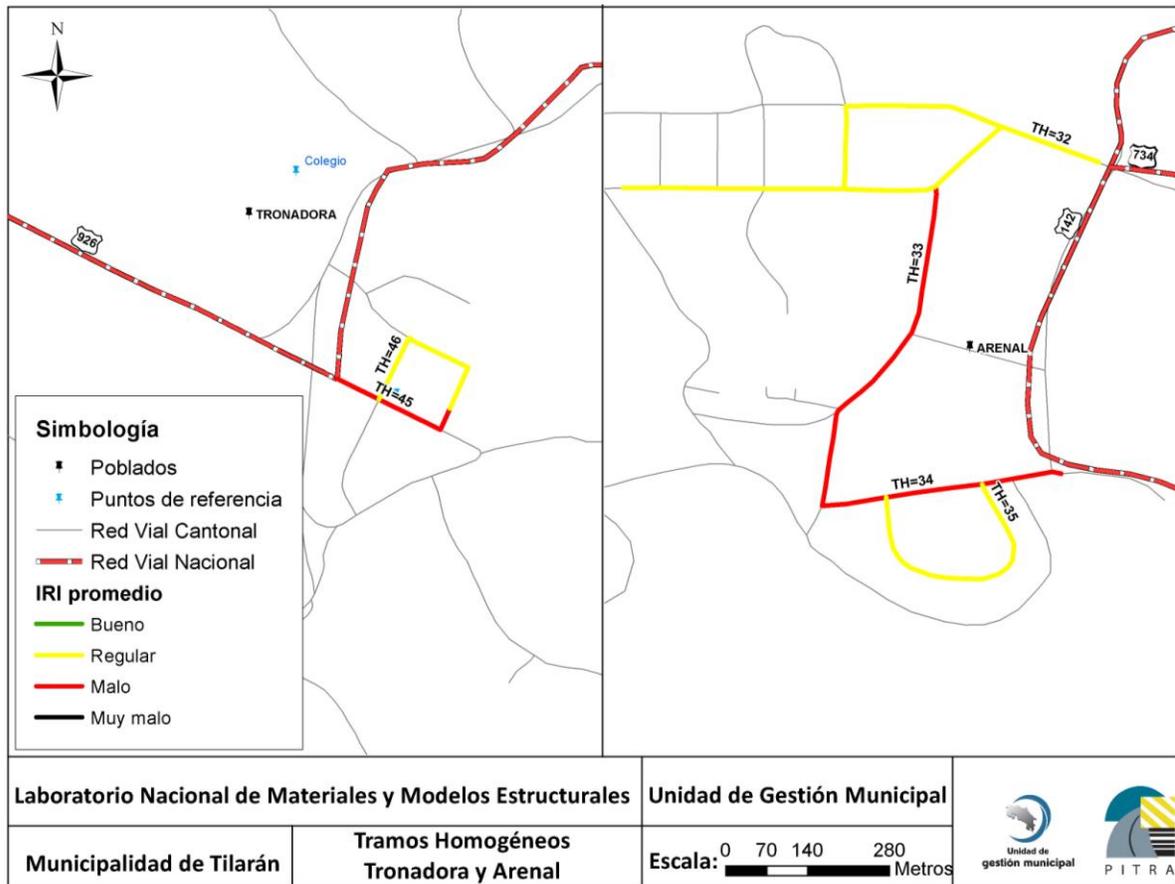


Figura 40. IRI promedio para las vías analizadas en Tronadora y Arenal.

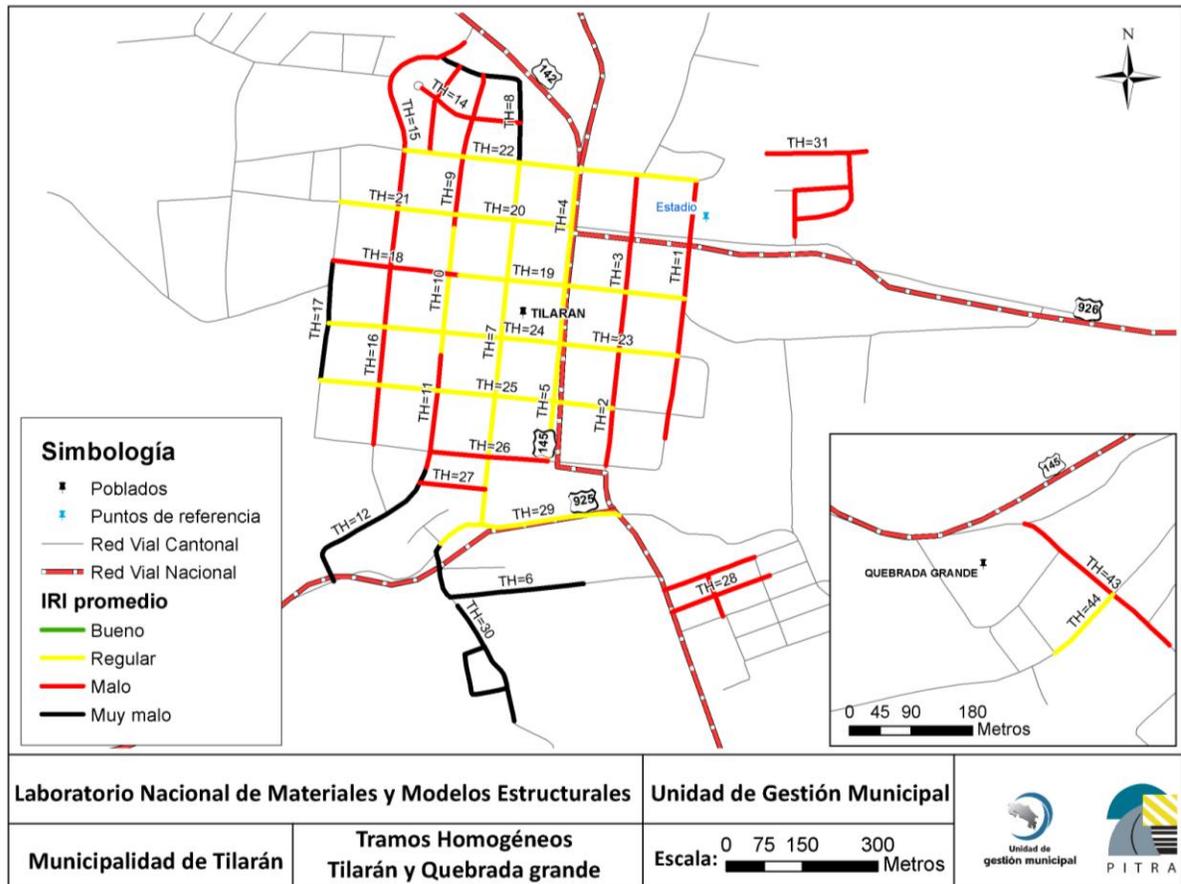


Figura 41. IRI promedio para las vías analizadas en Tilarán y Quebrada Grande.

La distribución de la cantidad de tramos homogéneos y de los metros lineales asociados a cada categoría de IRI de acuerdo con las mediciones del año 2010, se muestra porcentualmente en la figura 42 y figura 43. De los cuales se destaca que el 57% (ver Figura 43) de los tramos evaluados, poseen un IRI superior a 6,4 m/km, correspondiente a una vía con irregularidades importantes. La irregularidad en la superficie de ruedo implica un mayor costo de operación para los usuarios, mayor tiempo en el traslado y un viaje poco confortable sobre estos tramos. Estas irregularidades también ocasionan un deterioro acelerado de la estructura, debido a las cargas dinámicas que se ve sometida, ocasionado por el golpeteo de los vehículos al transitar por una ruta irregular.

Es posible establecer que un 48% (ver Figura 42) de la longitud evaluada en Tilarán (8 km, aproximadamente) presenta un IRI promedio del tramo inferior a 6,4 m/km, lo cual se asocia a una condición superficial aceptable para las velocidades de operación en una ruta cantonal.

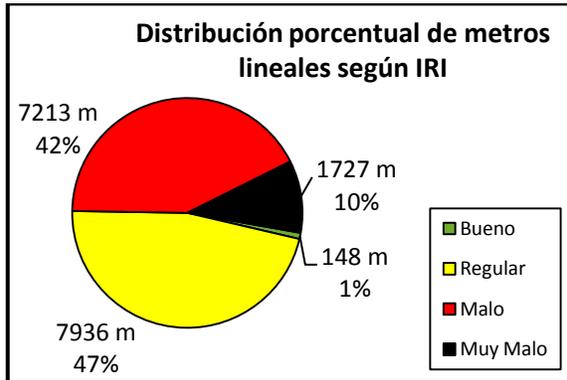


Figura 42. Porcentaje de metros lineales clasificados según el IRI promedio.

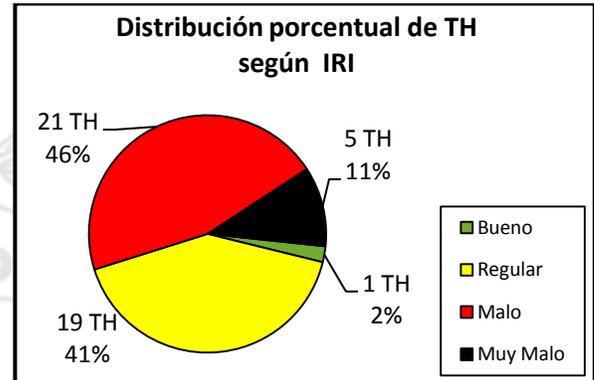


Figura 43. Porcentaje de tramos clasificados según el IRI promedio.

3.2.6 Notas Calidad

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

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

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

En la tabla 6 y tabla 7, se presentan dos matrices que establecen notas de calidad en función de los valores de IRI y deflectometría medidos al momento de la evaluación.

Tabla 6. 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 7. 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 la tablas 6 y la tabla 7 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 la tabla 6 y la tabla 7 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 la tabla 6 y la tabla 7, son una adaptación a las condiciones municipales de las notas de calidad expuestas en el informe LM-PI-UE-05-11.

3.2.6.1 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 en el momento de su evaluación, normalmente se debe a recapados o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido a dar aporte estructural significativo, por lo tanto son trabajos de poca durabilidad. La condición de pérdida acelerada de la capacidad estructural y funcional de estos pavimentos los convierte en candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida a corto plazo.
- R-1, R-2: Estos pavimentos presentan una condición estructural muy deficiente. Los tramos que se encuentran categorizados en esta condición y poseen una buena condición de la capa de ruedo se debe, principalmente, a la presencia de sobrecapas o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido, de manera significativa, a nivel estructural, por lo tanto, son trabajos de poca durabilidad y existe una rápida migración a notas como R-3 y NP, donde la alternativa de intervención es una reconstrucción del pavimento. Estos tramos son candidatos a intervenciones del tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida de forma inmediata.
- R-3, NP: Estos pavimentos presentan un altísimo nivel de deterioro. Donde la transitabilidad y la capacidad estructural son inferiores a los niveles aceptables para una carretera pavimentada. Estos tramos son candidatos a las inversiones de más alto costo, siendo tramos candidatos a una reconstrucción.

3.2.6.2 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 la tabla 6 y la tabla 7, 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 8, se puede observar el detalle de los valores promedio de IRI y deflectometría para cada tramo homogéneo correspondientes a las condiciones de la infraestructura para el año 2010, además, se indica la nota de calidad asociada a los valores obtenidos.

Tabla 8. Nota de calidad asignada a cada tramo analizado en la localidad de Tilarán.

Tramo	Long (m)	FWD promedio	IRI promedio	Notas Q
1	513	168.00	9.04	R-3
2	195	166.01	7.04	R-3
3	383	96.90	6.76	Q9
4*	347	78.17	3.78	Q5
5*	233	100.98	3.71	Q8
6	383	169.49	10.81	NP
7	814	89.78	5.27	Q8
8	328	125.33	10.54	NP
9	309	210.83	7.17	R-3
10	252	77.05	4.11	Q5
11	231	182.55	6.62	R-3
12	327	112.60	10.51	R-3
13	186	118.85	7.18	R-3
14	213	92.89	7.97	Q9
15	316	66.37	9.69	Q4
16	584	177.07	7.38	R-3
17	238	72.73	11.51	M-RF
18	252	105.30	8.61	Q9
19	448	81.42	3.82	Q5
20	265	70.36	4.32	Q2
21	195	239.78	4.76	R-2
22	581	185.12	6.07	R-2
23	262	148.66	4.78	R-2

Tramo	Long (m)	FWD promedio	IRI promedio	Notas Q
24	432	83.09	6.34	Q5
25	581	201.23	6.20	R-2
26	233	145.47	8.49	R-3
27	130	221.59	9.72	R-3
28	486	101.47	7.99	Q9
29*	276	100.81	5.62	Q8
30	451	146.26	14.53	NP
31	609	106.45	9.86	Q9
32	1277	69.00	6.30	Q2
33	413	114.96	8.49	Q9
34	602	71.29	8.03	Q4
35	464	67.30	5.87	Q2
36	148	142.10	2.74	R-1
37	676	96.55	5.50	Q8
38	408	55.00	8.07	Q4
39	243	101.58	7.20	Q9
40	147	69.10	4.69	Q2
41	282	115.72	5.27	R-2
42	238	119.42	7.91	R-3
43	277	88.38	8.60	Q7
44	96	141.24	4.07	R-2
45	391	83.41	6.51	Q7
46	307	137.43	5.06	R-2

* Tramos homogéneos ubicados sobre la Red Vial Nacional.

En la figura 44, figura 45 y figura 46 puede observarse cada tramo homogéneo clasificado según la metodología de notas de calidad.

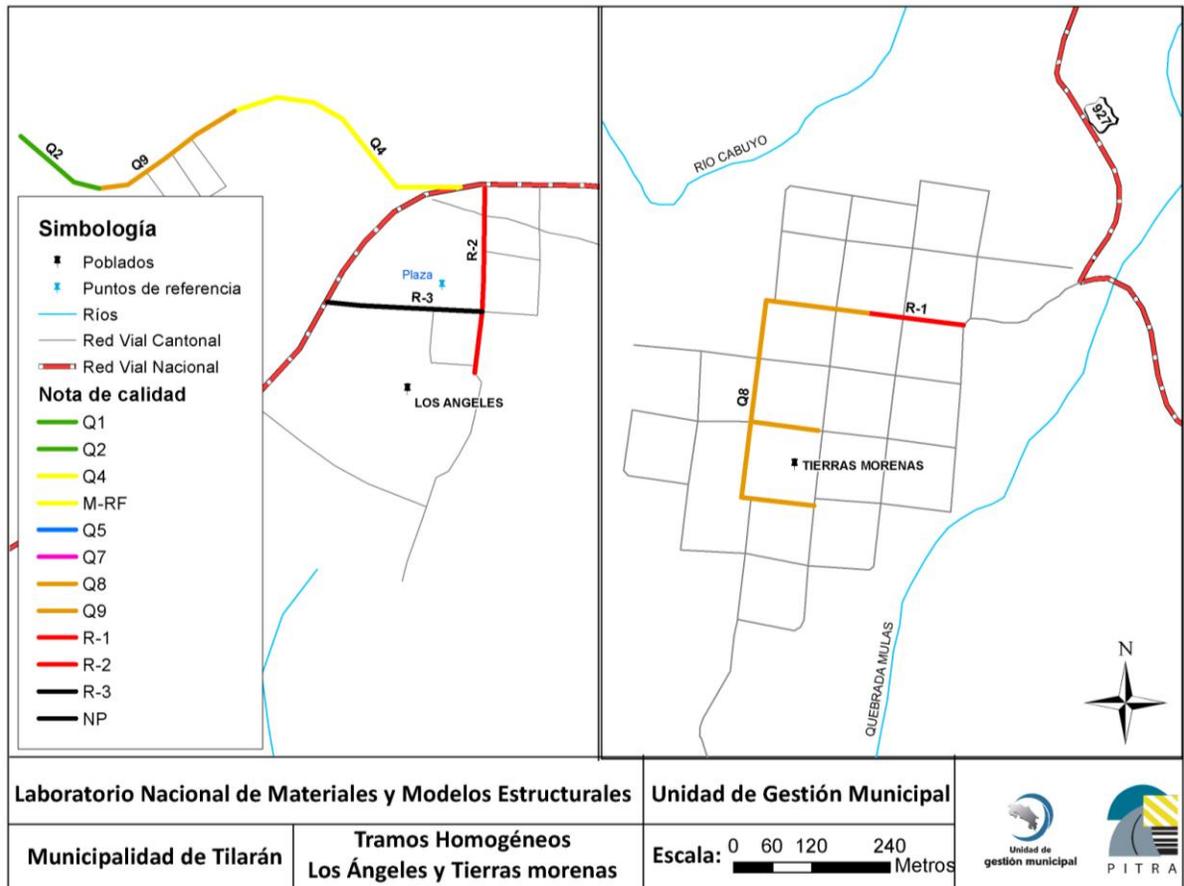


Figura 44. Notas de Calidad para los tramos homogéneos analizados en las localidades de Los Ángeles y Tierras Morenas.

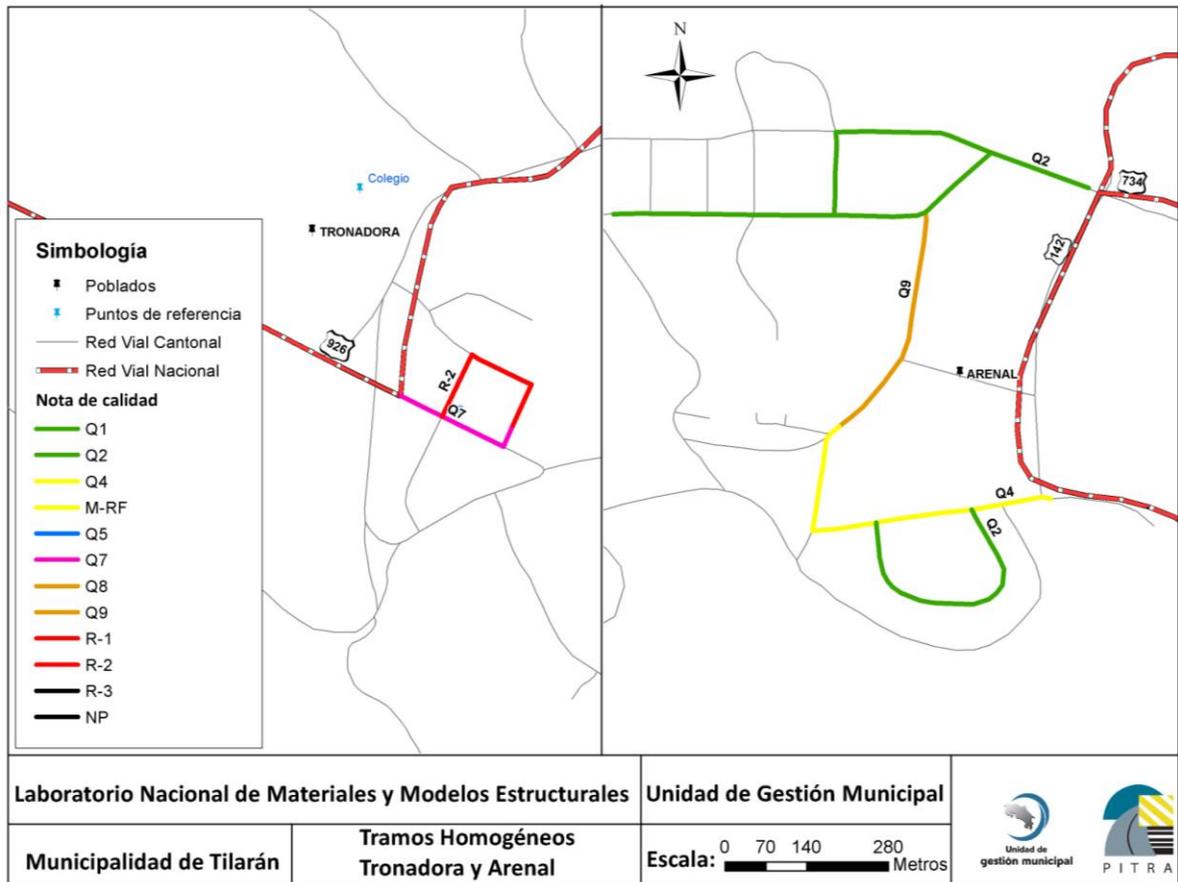


Figura 45. Notas de Calidad para los tramos homogéneos analizados en la localidad de Tronadora y Arenal.

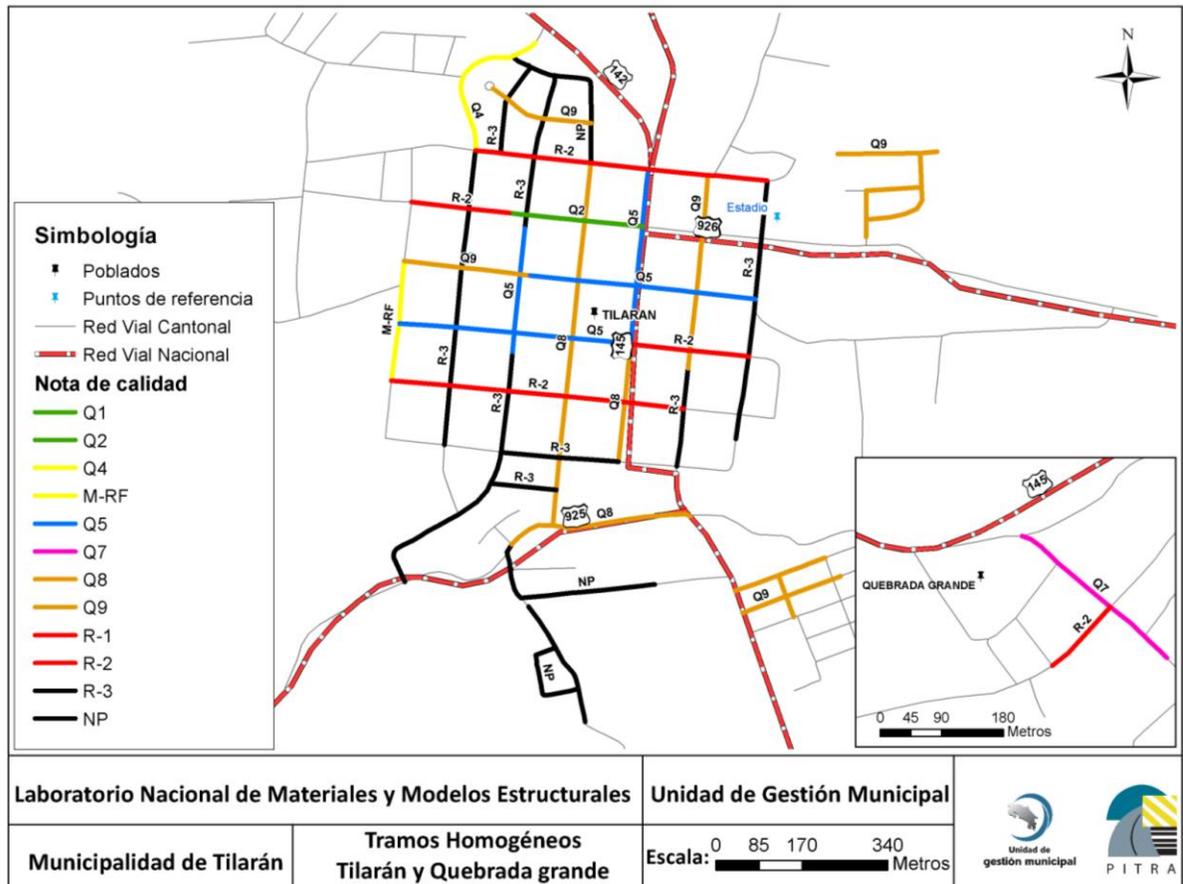


Figura 46. Notas de Calidad para los tramos homogéneos analizados en la localidad de Tilarán y Quebrada Grande.

En la figura 47, puede observarse la distribución porcentual de las diferentes notas de calidad de los tramos homogéneos, en las cuales las notas de calidad Q9 y R-3 son aquellas con porcentajes mayores (15% y 22%, respectivamente).

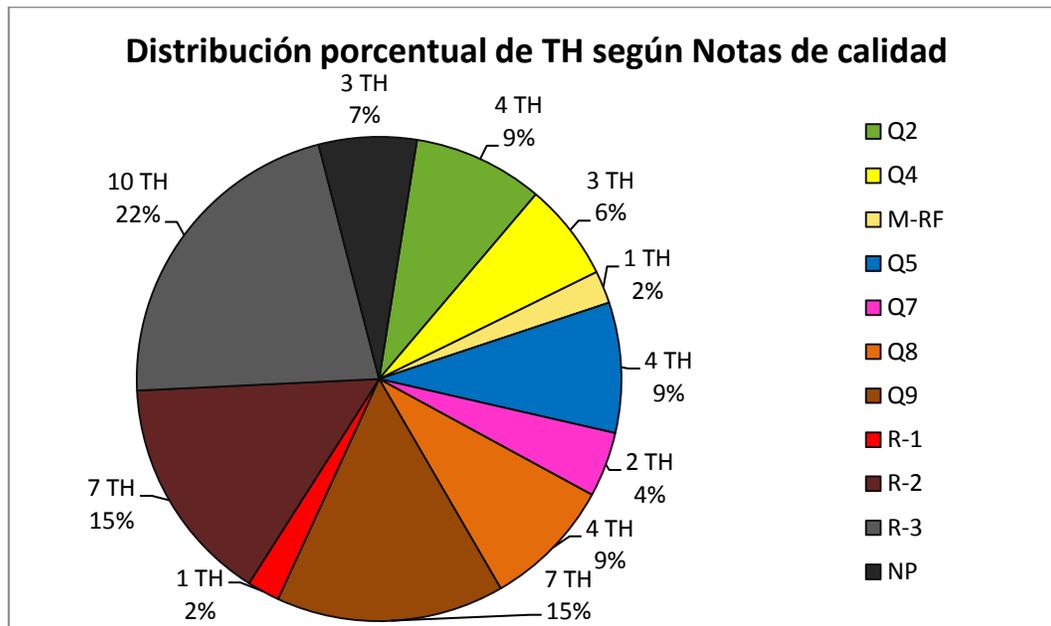


Figura 47. Distribución porcentual de las notas de calidad asignadas a cada tramo homogéneo.

3.3 Tipos de intervención

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

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

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



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

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

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

En la figura 48, 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.

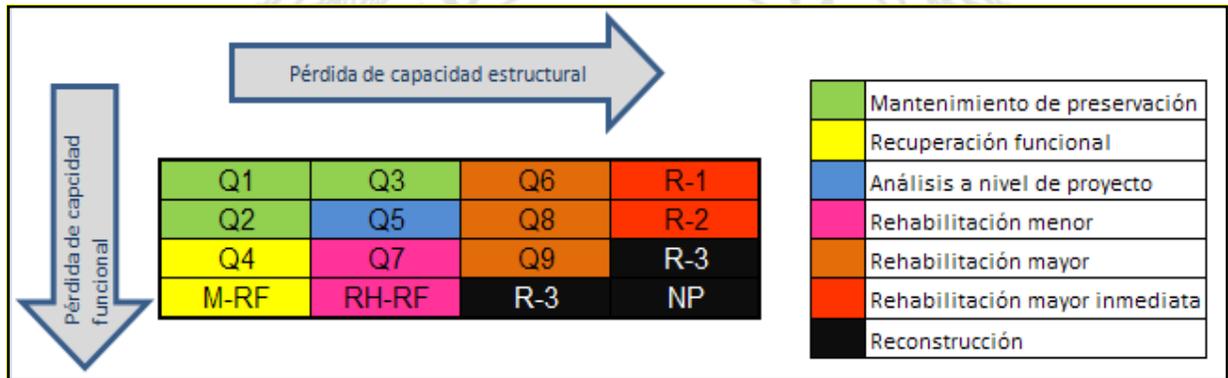


Figura 48. Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la tabla 9, puede observarse el tipo de intervención (a nivel de red) propuesto para cada tramo homogéneo en la localidad de Tilarán, con base en las mediciones y evaluaciones realizadas en el 2010 por el personal del LanammeUCR y la UTGV de Tilarán.

Tabla 9. Tipo de intervención requerida a nivel de red para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de Tilarán.

Tramo	Long (m)	Notas Q	Tipo Intervención
1	513	R-3	Reconstrucción
2	195	R-3	Reconstrucción
3	383	Q9	Rehabilitación mayor
4	347	Q5	Análisis a nivel de proyecto
5	233	Q8	Rehabilitación mayor
6	383	NP	Reconstrucción
7	814	Q8	Rehabilitación mayor
8	328	NP	Reconstrucción
9	309	R-3	Reconstrucción
10	252	Q5	Análisis a nivel de proyecto
11	231	R-3	Reconstrucción
12	327	R-3	Reconstrucción
13	186	R-3	Reconstrucción
14	213	Q9	Rehabilitación mayor
15	316	Q4	Recuperación funcional
16	584	R-3	Reconstrucción
17	238	M-RF	Recuperación funcional
18	252	Q9	Rehabilitación mayor
19	448	Q5	Análisis a nivel de proyecto
20	265	Q2	Mantenimiento de preservación
21	195	R-2	Rehabilitación Mayor Inmediata
22	581	R-2	Rehabilitación Mayor Inmediata
23	262	R-2	Rehabilitación Mayor Inmediata
24	432	Q5	Análisis a nivel de proyecto
25	581	R-2	Rehabilitación Mayor Inmediata
26	233	R-3	Reconstrucción
27	130	R-3	Reconstrucción
28	486	Q9	Rehabilitación mayor
29	276	Q8	Rehabilitación mayor
30	451	NP	Reconstrucción
31	609	Q9	Rehabilitación mayor
32	1277	Q2	Mantenimiento de preservación
33	413	Q9	Rehabilitación mayor
34	602	Q4	Recuperación funcional

Tramo	Long (m)	Notas Q	Tipo Intervención
35	464	Q2	Mantenimiento de preservación
36	148	R-1	Rehabilitación Mayor Inmediata
37	676	Q8	Rehabilitación mayor
38	408	Q4	Recuperación funcional
39	243	Q9	Rehabilitación mayor
40	147	Q2	Mantenimiento de preservación
41	282	R-2	Rehabilitación Mayor Inmediata
42	238	R-3	Reconstrucción
43	277	Q7	Rehabilitación menor
44	96	R-2	Rehabilitación Mayor Inmediata
45	391	Q7	Rehabilitación menor
46	307	R-2	Rehabilitación Mayor Inmediata

Es importante hacer énfasis en que estos resultados son válidos al momento de la evaluación (año 2010), 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 figura 49, puede observarse la distribución porcentual de los tipos de intervención requeridos según la cantidad de kilómetros analizados (17 km); es de apreciar que un 13% (2 km) de la longitud evaluada posee una buena condición estructural y funcional, y que un 9% necesita una valoración a nivel de proyecto para determinar cuál sería el mejor tipo de intervención que podría aplicársele.

Un 27% de la longitud evaluada (4,6 km) es candidata para trabajos relacionados con una rehabilitación mayor, ya que la capacidad estructural ha disminuido considerablemente; y un 9% necesita una recuperación 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. Además, un 14 % de la longitud evaluada requiere una rehabilitación mayor inmediata, pues de lo contrario en poco tiempo podría cambiar de condición y necesitar de trabajos de reconstrucción. De los tramos evaluados dos son candidatos para una rehabilitación menor (0,7 km), mientras que 13 tramos (4,1 km)

necesitan una reconstrucción parcial o total del pavimento ya que este ha llegado al final de su vida útil y presenta daños severos.

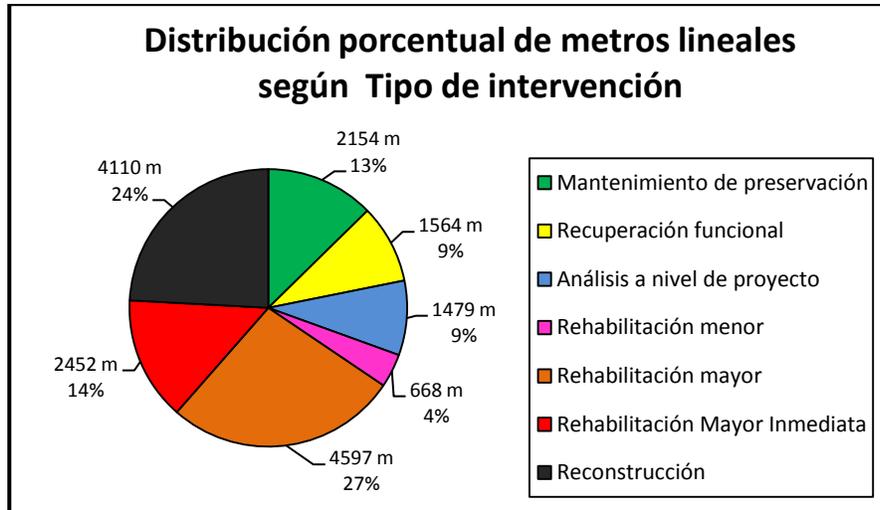


Figura 49. Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de Tilarán, según longitud.

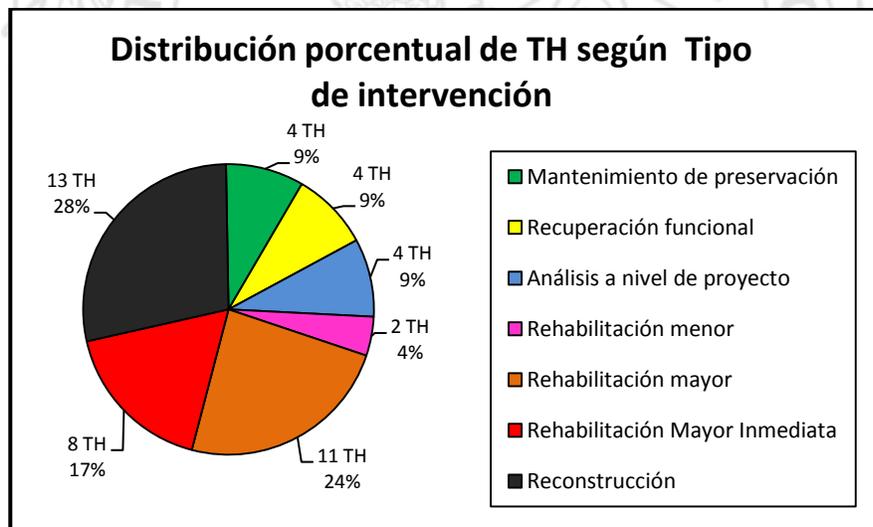


Figura 50. Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de Tilarán, según cantidad de tramos.

En la figura 51, figura 52 y figura 53, se observa de manera gráfica el tipo de intervención propuesta para cada uno de los tramos homogéneos, según el estado estructural y las mediciones del IRI durante el año 2010.

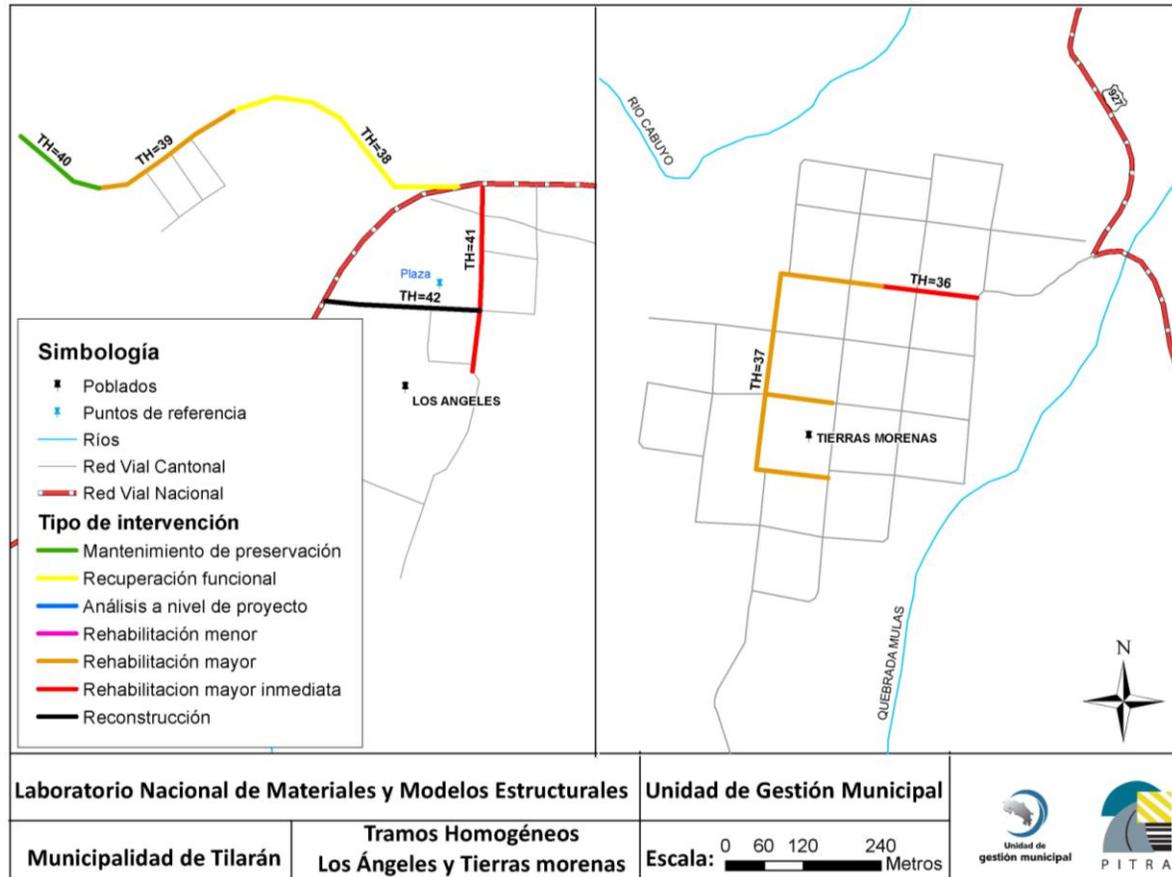


Figura 51. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo.

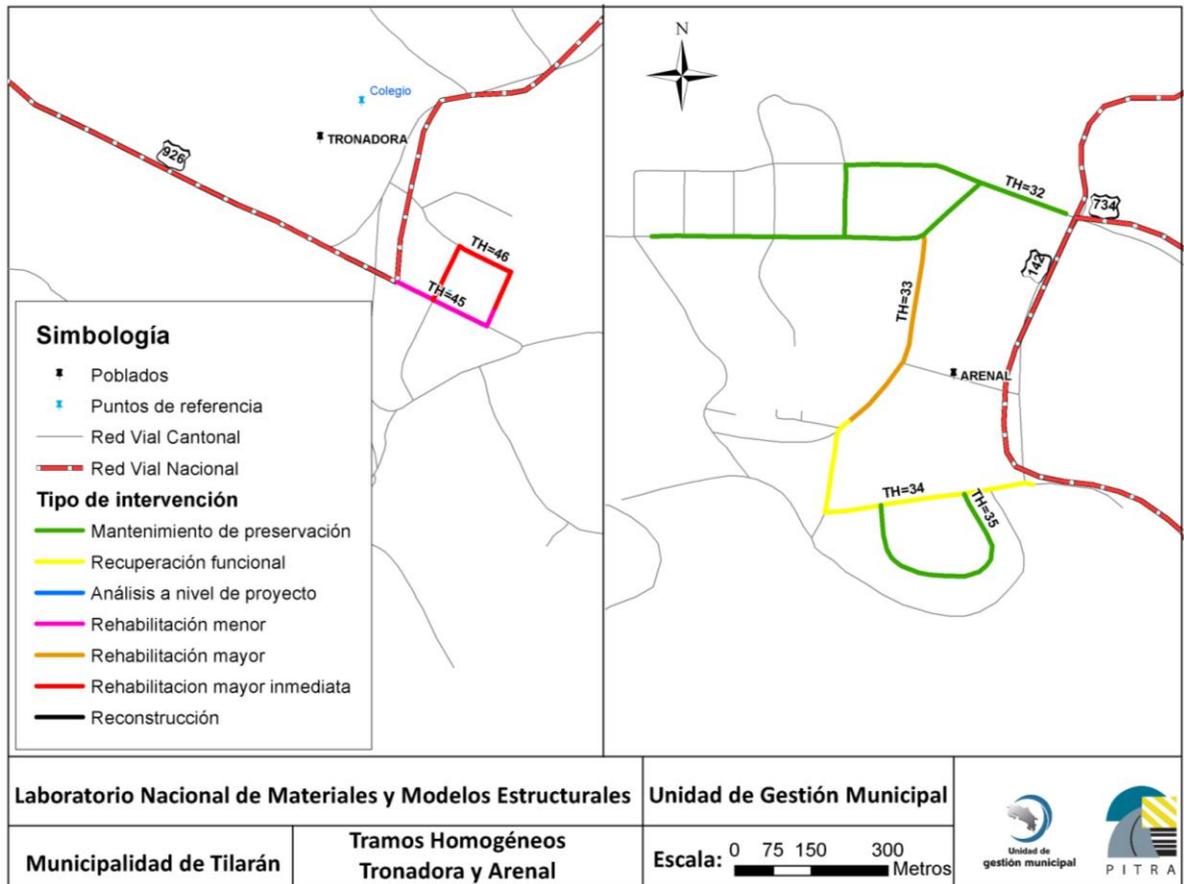


Figura 52. Tipo de intervención recomendada para cada tramo.

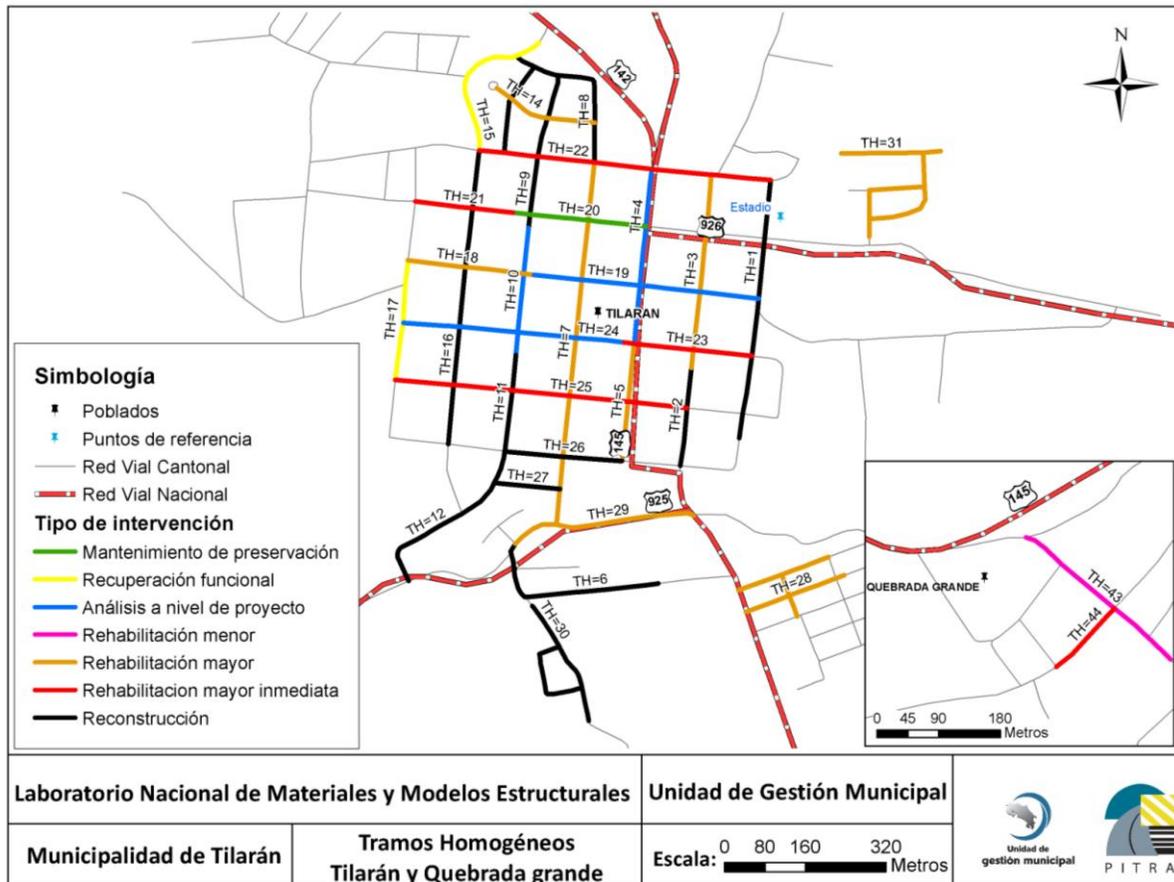


Figura 53. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo.

3.4 Diseño y Costos de los Tratamientos

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

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

Para diseñar las diferentes intervenciones es necesario realizar un retrocálculo de los módulos resilientes de los materiales que conforman la estructura actual del pavimento. El



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

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 Tilarán para un análisis a nivel estratégico; por lo tanto, para presupuestar o definir con exactitud el costo específico para un proyecto, se debe realizar un análisis y diseño formal del tipo de intervención para cada proyecto, es decir, realizar un análisis a nivel de proyecto.

3.5 Escenarios de inversión

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



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

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

De acuerdo con las pruebas y mediciones realizadas en la red vial cantonal de Tilarán durante el año 2010, se obtiene que para ese tiempo la condición estructural en los tramos homogéneos presenta deficiencias importantes. Un 66% de la longitud en Tilarán, correspondiente a 11 km de los 17 km evaluados, 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. Por otra parte, es importante destacar que el 22% (aproximadamente, 3,7 km) de distancia evaluada posee una buena capacidad estructural.

En cuanto al estado funcional de la red, se tiene que un 10% de la red evaluada posee un IRI superior a 10 m/km, un 47% de la red presenta un valor de IRI entre 3,6 y 6,4 m/km, lo que implica una irregularidad superficial moderadamente alta, y provoca costos de operación (desgaste de llantas, combustible, etc.) elevados para los usuarios y mayores tiempos de viaje; además, la irregularidad en una superficie provoca un desgaste acelerado en la estructura de pavimento al generarse un impacto dinámico de las llantas de los vehículos sobre la superficie asfáltica.

Se generaron 46 tramos homogéneos para la localidad de Tilarán, los cuales tienen como objetivo definir unidades discretas para facilitar la gestión municipal en cuanto al mantenimiento y mejoramiento de la red. Cada uno de los tramos requiere de un tipo de intervención particular a lo largo de toda su longitud, pero esto no impide que se puedan dar uniones en los mismos, posterior a un análisis de costos.



Entre los resultados más relevantes del análisis de la red vial cantonal de Tilarán, se obtiene que para las condiciones del pavimento en el año 2010, más de la mitad de la longitud evaluada (66%) requiere algún tipo de refuerzo estructural, que proporcione el soporte requerido para resistir las cargas de tránsito con un nivel de servicio aceptable. De las rutas evaluadas 4,1 km requieren algún tipo de reconstrucción, lo cual implica intervenir parte o todas las capas granulares de la estructura; y 2,5 km deben ser intervenidos a corto plazo, debido que se encuentran en la categoría de rehabilitación mayor inmediata. Además, únicamente 2,2 km evaluados poseen la condición funcional y estructural para realizar labores de mantenimiento correctivo o preventivo.

Es importante recalcar que los diferentes tipos de intervenciones sugeridos en este informe son generales y se enfocan en un nivel de análisis estratégico, por lo que pueden ser utilizadas como una herramienta de gestión por el municipio; sin embargo, es necesario realizar un diseño específico que considere los diferentes parámetros requeridos para un diseño a nivel de proyecto antes de la planeación y la ejecución de la obra.

Las recomendaciones de intervención se establecen basadas en la condición del pavimento en el momento de ejecutar los ensayos de laboratorio y campo (año 2010), por lo que deben ser analizadas y determinar si se han generado cambios importantes en la misma. Además, estas recomendaciones se proponen como soluciones óptimas generales a la condición de cada tramo homogéneo al realizar la evaluación, es decir, si un tramo homogéneo requiere reconstrucción y se aplica un bacheo o una rehabilitación se solucionará el problema temporalmente, sin embargo, a corto o mediano plazo presentará deficiencias, por lo que no se estarían optimizando los recursos disponibles.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda al municipio generar un plan de inversiones a mediano plazo, un plan quinquenal, en donde se definan los tramos homogéneos que se intervendrán cada año, el cual se base en el presupuesto disponible, los tipos de intervención necesarios y los costos de ejecución del municipio. Así mismo, se recomienda intervenir tramos que se encuentren dentro de la categoría de rehabilitación mayor, para evitar tener que hacer mayores intervenciones a un corto plazo, ya que tramos con esta condición se deterioran con rapidez,

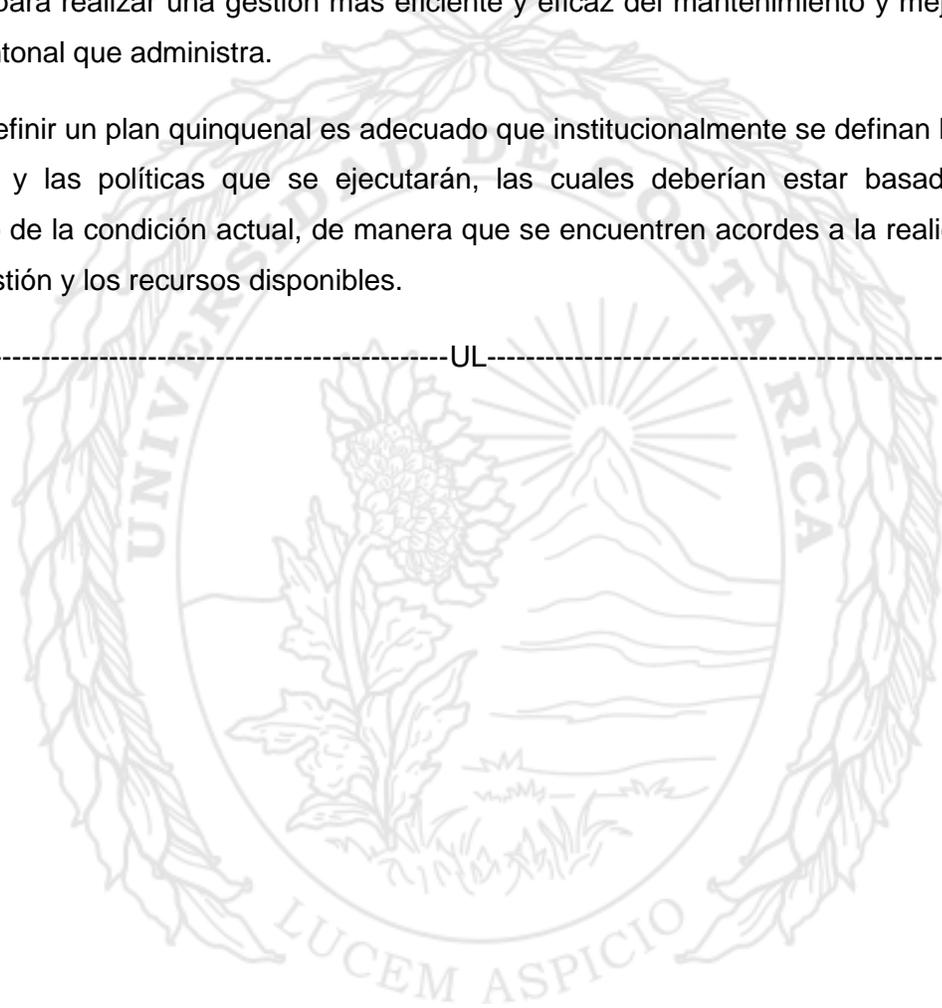


pasando a notas de calidad R2-R3, donde lo que se requeriría es una reconstrucción y por lo tanto inversiones mayores, de igual forma deberían tener prioridad los tramos en la condición de preservación, para prolongar la vida útil de los mismos y maximizar la inversión realizada.

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

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

-----UL-----





5 REFERENCIAS

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