



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-INF-07-2015

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

Preparado por:
Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica
Setiembre, 2015



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

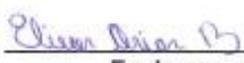
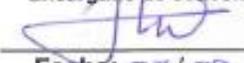
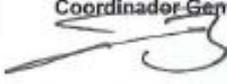
1. Informe LM-PI-GM-INF-07-2015		2. Copia No. 3
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE ASERRÍ: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE TRAMOS HOMOGÉNEOS		4. Fecha del Informe: Setiembre, 2015
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de 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>Con el propósito de evaluar la condición de los pavimentos en aproximadamente 13 km de la red vial cantonal de Aserrí, durante el año 2013 se realizaron ensayos de IRI y deflectometría, 14 conteos vehiculares (uno de ellos se realizó en el año 2015) y 20 sondeos a cielo abierto. De acuerdo con la información recolectada fue posible identificar las condiciones funcionales y estructurales del pavimento y su composición por capas y el tipo de suelo, así como también las características del tránsito vehicular de la zona. Posteriormente, con esta información se procedió a la formulación de tramos homogéneos en los cuales a partir de indicadores de calidad se les asignó el tipo de intervención requerido. En cuanto a la capacidad estructural se obtuvo que un 51% de la red evaluada (6,7 km) se encuentra en "Buena" condición para resistir las cargas aplicadas por el tránsito, mientras que un 39% se encuentra en condiciones deficientes, y únicamente 1,3 km se encuentran en condiciones "Regulares". Con respecto a las condiciones funcionales, un total de 8 km (el 62 % de la red en estudio) se encuentra con valores de IRI "Muy malos", un 34% en condiciones "Malas", y únicamente 366 m presentan una condición "Regular". Por lo tanto, con base en los indicadores de Notas de Calidad, se obtuvo que únicamente 366 m califican para un Mantenimiento de preservación, a diferencia de un 48% de la red evaluada (6,3 km) que requieren de una recuperación funcional. Las intervenciones de rehabilitación menor y mayor son requeridas en una longitud de 1,3 km y 1,2 km, respectivamente. Además, aproximadamente, 3,8 km (un 29% de la red en estudio) debe ser reconstruida para brindar condiciones de servicio óptimas para los usuarios.</i>		
8. Palabras clave Evaluación, Gestión, Aserrí.	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 74
11. Preparado por: Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 07/09/2015		12. Revisado por: Ing. Alonso Ulate Castillo Unidad de Gestión Municipal Encargado de convenio  Fecha: 07/09/15
13. Revisado por: Carlos Campos Cruz, Mba Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 07/09/15	14. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal, Lanamme UCR  Fecha: 07/09/15	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loria Salazar, PhD Coordinador General-PITRA  Fecha: 1/1

TABLA DE CONTENIDO

1	ANTECEDENTES	7
1.1	ASESORÍA TÉCNICA	7
1.2	CAPACITACIÓN.....	8
1.3	MUESTREOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO.....	8
2	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL.....	8
2.1	IMPORTANCIA	8
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP)	9
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL	11
2.4	ESQUEMA METODOLÓGICO.....	12
3	DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE ASERRÍ	13
3.1	OBJETIVO	13
3.2	ACTIVIDADES	13
3.2.1	<i>TRÁNSITO VEHICULAR DIARIO</i>	<i>15</i>
3.2.2	<i>EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FUNCIONAL</i>	<i>18</i>
3.2.3	<i>EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL.....</i>	<i>23</i>
3.2.4	<i>CARACTERIZAR LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....</i>	<i>29</i>
3.2.5	<i>DEFINIR TRAMOS HOMOGÉNEOS.....</i>	<i>42</i>
3.2.6	<i>NOTAS CALIDAD.....</i>	<i>51</i>
3.3	TIPOS DE INTERVENCIÓN	59
3.3.1	<i>OBSERVACIONES SOBRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....</i>	<i>65</i>
3.4	DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	69
3.5	ESCENARIOS DE INVERSIÓN	70
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
4.1	CONCLUSIONES	71
4.2	RECOMENDACIONES	73
5	REFERENCIAS.....	74



ÍNDICE DE CUADROS

TABLA 1. CATEGORIZACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL	20
TABLA 2. ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO SEGÚN LOS SONDEOS REALIZADOS	30
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO DE LA SUB-RASANTE EN LOS SONDEOS REALIZADOS.....	31
TABLA 4. GRUPOS DE SUELOS Y CARACTERÍSTICAS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN SUCS.	32
TABLA 5. CLASIFICACIÓN DEL CBR.....	39
TABLA 6. ÍNDICE DE RESISTENCIA CBR.	41
TABLA 7. LONGITUD DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN ASERRÍ.	43
TABLA 8. MATRIZ PARA DETERMINAR LAS NOTAS DE CALIDAD EN UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	52
TABLA 9. NOTA DE CALIDAD ASIGNADA A CADA TRAMO ANALIZADO EN LA LOCALIDAD DE ASERRÍ.....	56
TABLA 10. TIPO DE INTERVENCIÓN REQUERIDO A NIVEL DE RED PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS.....	10
FIGURA 2. ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL.	11
FIGURA 3. ESQUEMA METODOLÓGICO.	12
FIGURA 4. RED VIAL CANTONAL DE ASERRÍ ANALIZADA EN ESTE INFORME.	14
FIGURA 5. CABLES Y CONTADORES AUTOMÁTICOS EN SITIO.....	15
FIGURA 6. CONFIGURACIÓN DE LOS CONTADORES.....	16
FIGURA 7. VOLUMEN VEHICULAR DIARIO EN LA LOCALIDAD DE ASERRÍ.	17
FIGURA 8. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN LA LOCALIDAD DE ASERRÍ.....	18
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN FÍSICA DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL.	19
FIGURA 10. PERFILÓMETRO INERCIAL LÁSER.....	20
FIGURA 11. CONDICIÓN DEL IRI EN EL CANTÓN DE ASERRÍ, SECTOR 1.	21
FIGURA 12. CONDICIÓN DEL IRI EN EL CANTÓN DE ASERRÍ, SECTOR 2.	22
FIGURA 13. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DEL IRI.....	23
FIGURA 14. DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO.	23
FIGURA 15. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR EN LA RVC.	24
FIGURA 16. TRAMOS CON PRESENCIA DE BASE ESTABILIZADA EN SU ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	25
FIGURA 17. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE ESTABILIZADA.	26
FIGURA 18. CONDICIÓN DEL FWD PARA LA LOCALIDAD DE ASERRÍ, SECTOR 1.....	27
FIGURA 19. CONDICIÓN DEL FWD PARA LA LOCALIDAD DE ASERRÍ, SECTOR 2.....	28



FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DE FWD.	28
FIGURA 21. EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	29
FIGURA 22. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS EN ASERRÍ, SECTOR1.....	33
FIGURA 23. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS EN ASERRÍ, SECTOR 2.....	34
FIGURA 24. CARACTERIZACIÓN SEGÚN AASHTO EN LA LOCALIDAD DE ASERRÍ, SECTOR 1.	37
FIGURA 25. CARACTERIZACIÓN SEGÚN AASHTO EN LA LOCALIDAD DE ASERRÍ, SECTOR 2.....	38
FIGURA 26. PRUEBA DE CBR EN SITIO.	39
FIGURA 27. CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES, SECTOR 1.	40
FIGURA 28. CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES, SECTOR 2.	41
FIGURA 29. UBICACIÓN DE TRAMOS HOMOGÉNEOS DEL SECTOR 1.....	44
FIGURA 30. UBICACIÓN DE TRAMOS HOMOGÉNEOS DEL SECTOR 2.....	45
FIGURA 31. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN ASERRÍ, SECTOR 1.	46
FIGURA 32. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN ASERRÍ, SECTOR 2.	47
FIGURA 33. PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO.	48
FIGURA 34. PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO.	48
FIGURA 35. IRI PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN ASERRÍ, SECTOR 1.	49
FIGURA 36. IRI PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN ASERRÍ, SECTOR 2.	50
FIGURA 37. PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.....	51
FIGURA 38. PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.	51
FIGURA 39. NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS A CADA TRAMO HOMOGÉNEO, SECTOR 1.	57
FIGURA 40. NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS A CADA TRAMO HOMOGÉNEO, SECTOR 2.	58
FIGURA 41. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS A LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN ASERRÍ.....	59
FIGURA 42. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA NOTA DE CALIDAD.	61
FIGURA 43. TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE ASERRÍ, SEGÚN LONGITUD.	63
FIGURA 44. TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE ASERRÍ, SEGÚN CANTIDAD DE TRAMOS HOMOGÉNEOS.	63
FIGURA 45. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO, SECTOR 1.....	64
FIGURA 46. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO, SECTOR 2.....	65
FIGURA 47. DETERIOROS TRAMO 13.	66
FIGURA 48. DETERIOROS TRAMO 15.	66
FIGURA 49. HUNDIMIENTO EN EL TRAMO 28	67
FIGURA 50. HUNDIMIENTO TRAMO 28.....	68



FIGURA 51. ALCANTARILLA EN TRAMO 28..... 68
FIGURA 52. SECCIÓN DEL TRAMO 27 QUE ESTABA SIENDO INTERVENIDA. 69





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)”.

Acorde a lo establecido en este marco legal, la Municipalidad de Aserrí solicitó el apoyo técnico del LanammeUCR para realizar una evaluación de la RVC, que sirva de insumo principal para su gestión y planificación de su conservación.

Con el propósito de unir esfuerzos para lograr objetivos comunes, la Municipalidad de Aserrí y la Universidad de Costa Rica convinieron 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 Aserrí.
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

El LanammeUCR realizará 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 Aserrí.

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 que debe ser capaz de permitir un servicio de transporte con un nivel adecuado, eficiente y eficaz para sus usuarios.

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

La conservación de las vías se enfoca en dos objetivos fundamentales. El primero de ellos se relaciona con el servicio que se le 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. Por otro lado, la conservación y mejoramiento del patrimonio vial que forma parte de los activos públicos del Estado.

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

Informe LM-PI-GM-INF-07-2015	Fecha de emisión: Setiembre de 2015	Página 8 de 74
------------------------------	-------------------------------------	----------------



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

A través de la aplicación del SAP se disminuye la incertidumbre de la inversión, ya que las decisiones se basan en estudios técnicos que permiten guiar de una mejor manera las inversiones, y con ello obtener 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.

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.

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

- Capacidad de ser fácilmente utilizado, posibilitando agregar y actualizar datos que permitan modificarlo con nueva información de manera sencilla.
- Capacidad de considerar estrategias alternativas dentro de la evaluación.
- Capacidad de identificar la estrategia o alternativa óptima.

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



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

Fuente: Modificado de Haas, 1993.

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 y ampliación de carreteras.

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

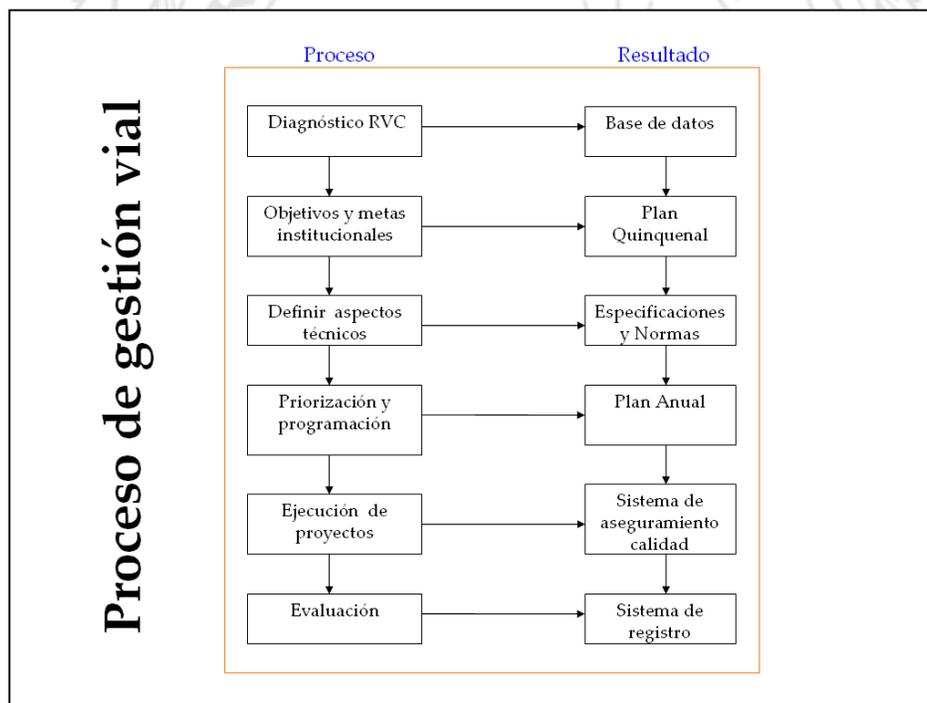


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Cuando se elabora el diagnóstico de la red vial cantonal, el producto principal es la base de datos, ya que permite determinar el estado actual de la red (insumo necesario para

establecer políticas de priorización y planes de conservación y rehabilitación de las vías del cantón).

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

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

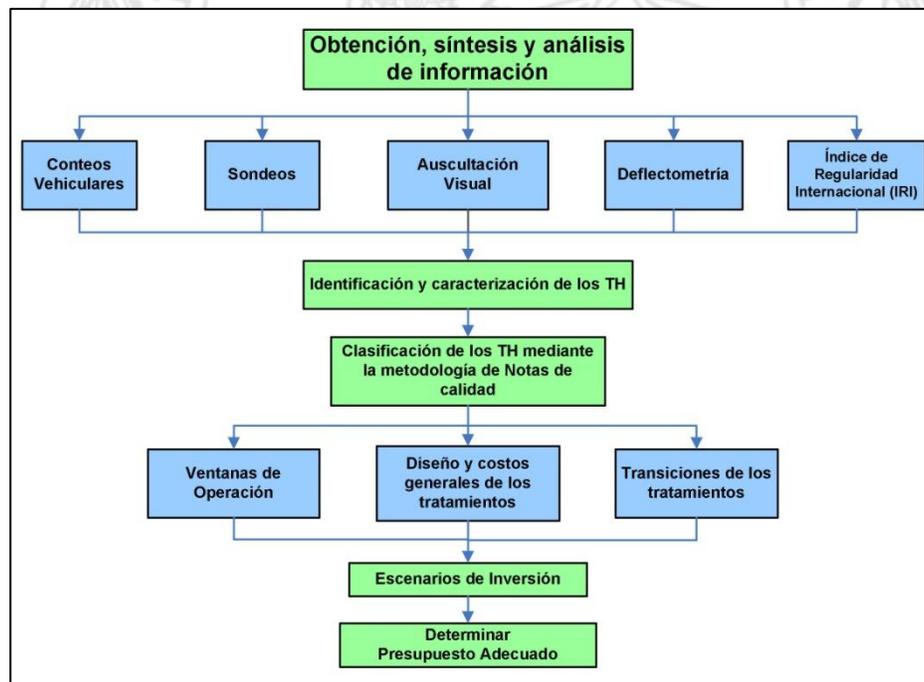


Figura 3. Esquema metodológico.



3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE ASERRÍ

3.1 Objetivo

Realizar una evaluación de la red vial cantonal de Aserrí para obtener una base de datos con diferentes aspectos técnicos de la infraestructura vial que sirva de insumo principal para su gestión.

3.2 Actividades

Las actividades para realizar el diagnóstico de la RVC asfaltada se compone de los siguientes procedimientos con productos asociados:

1. Determinar el tránsito promedio diario (TPD) y la clasificación de los vehículos que utilizan la RVC.
2. Evaluar la condición funcional mediante la medición del Índice de Regularidad Internacional -IRI-.
3. Evaluar la condición estructural de los pavimentos mediante la medición de sus deflexiones.
4. Caracterizar las estructuras de pavimentos existentes
5. Definir tramos homogéneos.

En la Figura 4 se muestra en líneas color azul la red vial asfaltada evaluada en el cantón, la cual para efectos de una mejor presentación de los datos ha sido dividida gráficamente en dos sectores: el "Sector 1" corresponde a la red del centro de Aserrí y alrededores, y el "Sector 2" las localidades de Vuelta de Jorco y San Gabriel.

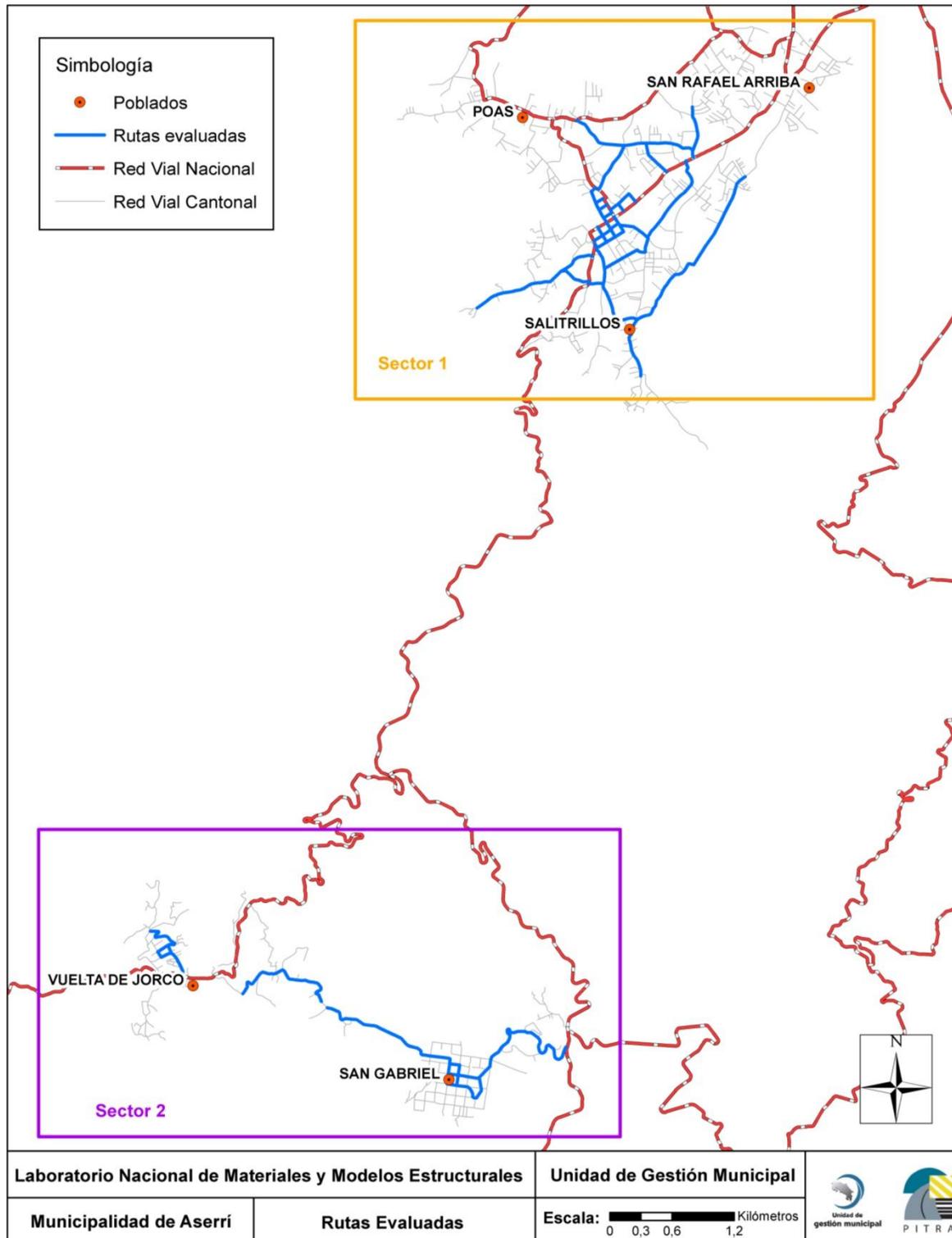


Figura 4. Red vial cantonal de Aserrí analizada en este informe.

3.2.1 Tránsito vehicular diario

La selección de las mejores alternativas de intervención en una red vial se encuentran estrechamente relacionadas con las características del tránsito que circula diariamente por ella, pues se debe asegurar que la estructura de pavimento sea la idónea según las demandas vehiculares que presenta. Es por esto que surge la importancia de realizar conteos vehiculares periódicamente (de preferencia cada año o máximo cada dos) para conocer el tipo de vehículos y el porcentaje de vehículos pesados que circulan por la localidad en estudio.

Es importante tener algunos aspectos en consideración al momento de realizar conteos vehiculares, como:

- Realizarlos durante periodos de tránsito normal, nunca en vacaciones o feriados.
- Realizarlos en días laborales (lunes a viernes). Preferiblemente martes, miércoles o jueves para evitar el efecto del fin de semana.
- Realizar conteos de 25 horas, para tomar en cuenta ambos periodos de la hora pico, 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.

A continuación, se presenta dos figuras con las distintas configuraciones en que se pueden colocar los contadores vehiculares en las vías (ver Figura 5 y Figura 6). La configuración de la izquierda en la Figura 6 muestra la disposición ideal, el de la derecha muestra una configuración más simple pero que resulta con pérdida de precisión.



Figura 5. Cables y contadores automáticos en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

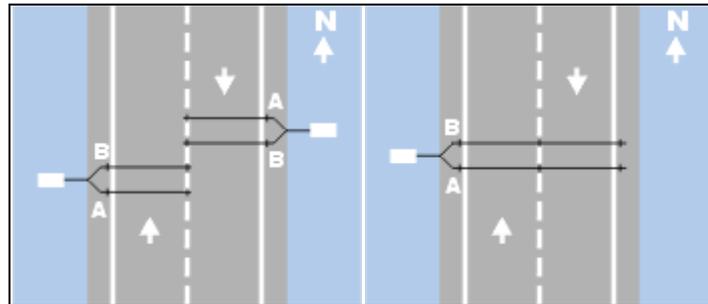


Figura 6. Configuración de los contadores.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Con el propósito de conocer la composición del tránsito en el cantón de Aserri, se seleccionaron sitios representativos de la red (principalmente en las zonas de mayor tránsito) y durante el año 2013 se realizaron 11 conteos vehiculares y uno en el año 2015, esto por medio de contadores neumáticos facilitados por el LanammeUCR.

En la Figura 7 se muestra la ubicación exacta de cada uno de los conteos realizados así como su respectivo valor de Tránsito Promedio Diario (TPD); es importante mencionar que el conteo #1 fue realizado sobre la red vial nacional y por lo tanto queda por fuera del alcance de esta evaluación, sin embargo, de igual forma se menciona que obtuvo un TPD de 21 220 vehículos.

En la red analizada se muestra cierta heterogeneidad en los flujos vehiculares de la zona, pues un 25% de ellos tiene valores de TPD menores a 1 000 vehículos por día, un 66,7% presenta datos entre los 1 000 y 7 000 vehículos, y como se mencionó anteriormente, únicamente un conteo obtuvo valores mayores a 15 000 vehículos; como se verá explicado con mayor detalle en la Figura 15 de la sección 3.2.3, estos son parámetros de relevancia cuando se analiza la capacidad estructural de la superficie de ruedo.

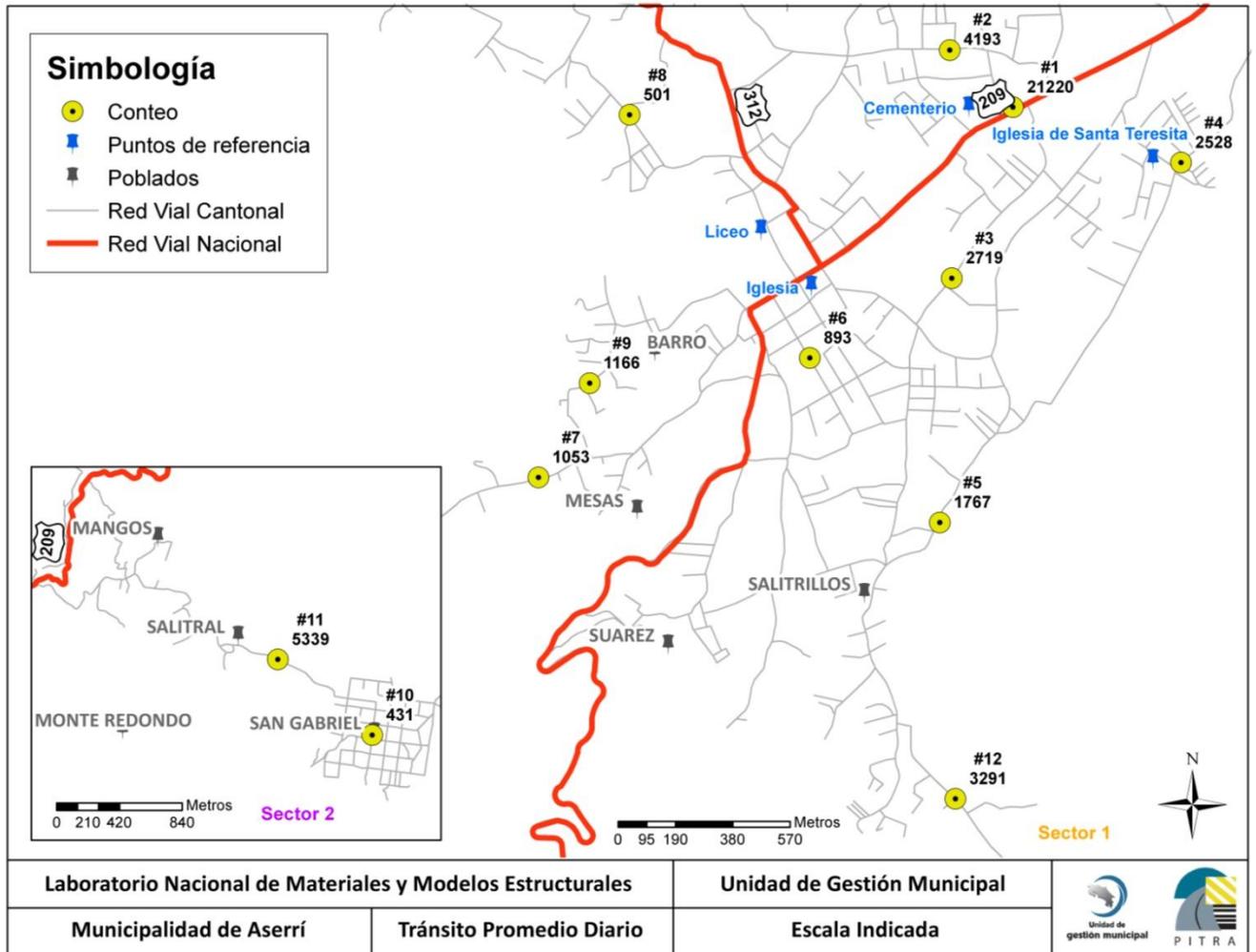


Figura 7. Volumen vehicular diario en la localidad de Aserri.

Fuente: LanammeUCR, 2015 (Información recopilada por UTGV-Aserri).

A partir de la realización de estos conteos vehiculares también se determina la cantidad de vehículos pesados que transitan por la zona, en consecuencia de que son los vehículos que generan mayor deterioro al pavimento. De forma general se obtuvo un valor promedio de 5,7% de vehículos pesados, mas en la Figura 8 se muestra el valor correspondiente a cada conteo. En los sectores de Salitral y San Gabriel se obtuvo valores bajos promedio de 1,2% vehículos pesados, aunque en las zonas de Mesas y Salitrillos se registraron valores altos, superiores al 10%.

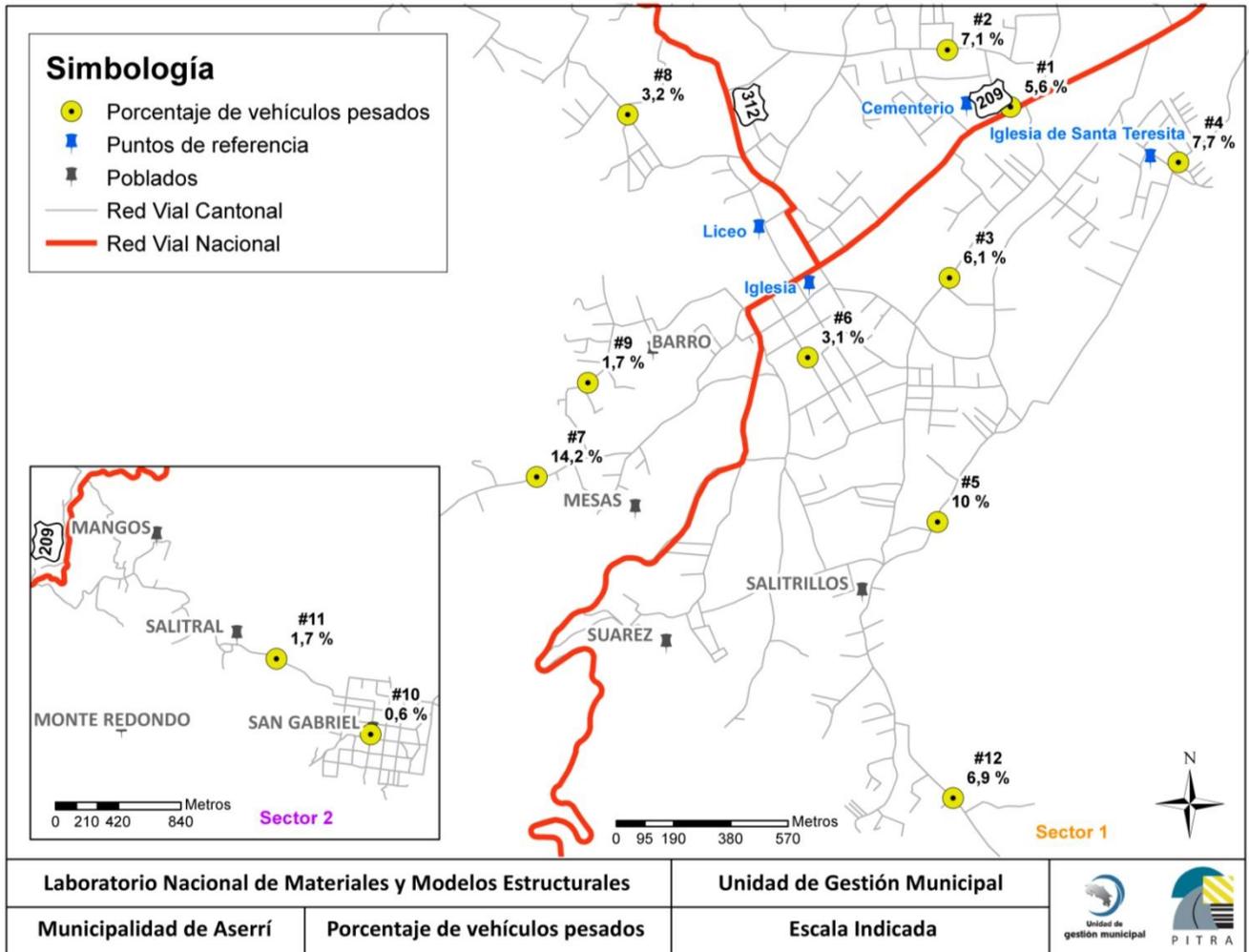


Figura 8. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Aserrí.

3.2.2 Evaluación de la condición funcional

La condición funcional se refiere a la capacidad de la vía en proporcionar servicio y confort a los usuarios, y es evaluada mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

3.2.2.1 Índice de Regularidad Internacional (IRI)

El IRI es utilizado en muchos países como parámetro de aceptación de obras y gestión de pavimentos, pues se encuentra estrechamente 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 rectificada (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 9.

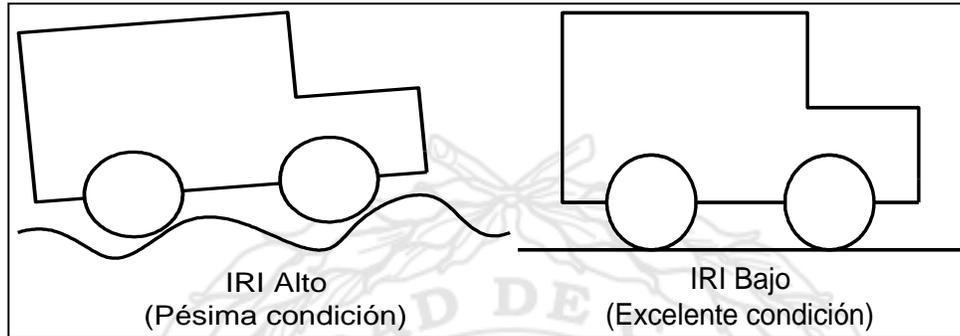


Figura 9. Representación física del Índice de Regularidad Internacional.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino, sin embargo, para obtener un resultado preciso 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 las mediciones de IRI presentadas en este informe es del tipo Perfilómetro Inercial Láser, el cual corresponde a una clase de equipos de alto rendimiento que generan medidas automáticas y de alta calidad. Las mediciones son independientes de cualquier variación en el peso y velocidad del vehículo, temperatura, color y textura del pavimento.

Este equipo, propiedad del LanammeUCR, mide la distancia del suelo al vehículo con un medidor láser ubicado en la parte delantera del vehículo; en la Figura 10, se muestra un esquema del funcionamiento del equipo y una imagen del equipo.

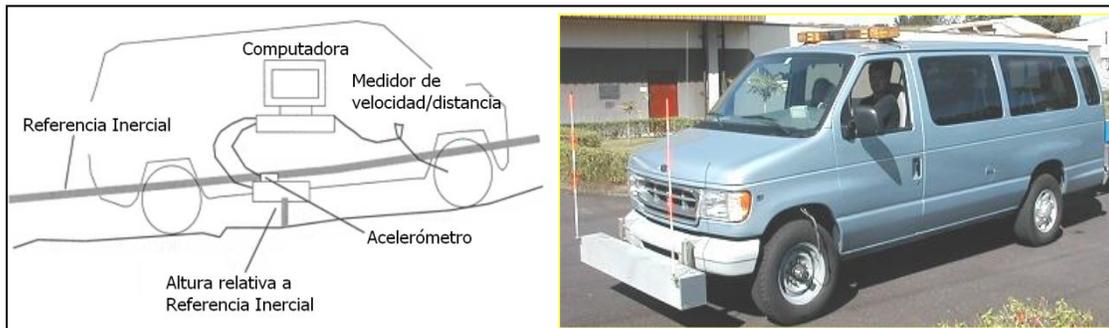


Figura 10. Perfilómetro Inercial Láser.
Fuente: LanammeUCR, 2008.

Como se presenta en la Figura 11 y Figura 12, durante el mes de marzo del año 2013 se realizaron evaluaciones de IRI en las rutas incluidas en el convenio (mostradas en la Figura 4) con una frecuencia de cada 25 metros, las cuales posteriormente fueron clasificadas según la escala y simbología que se presente en la Tabla 1 con el propósito de determinar el estado en que se encuentran.

Tabla 1. Categorización del Índice de Regularidad Internacional.

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

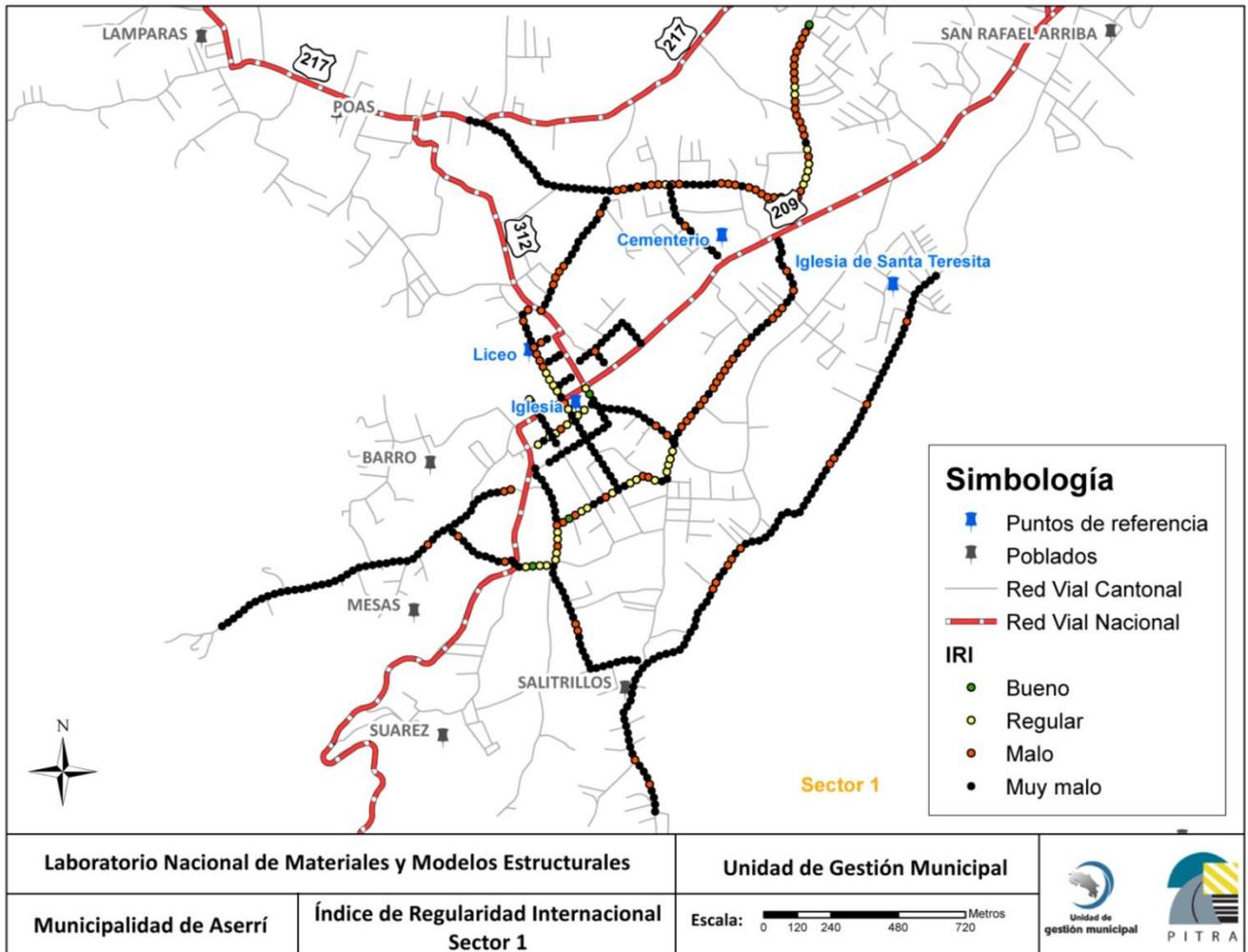


Figura 11. Condición del IRI en el cantón de Aserrí, Sector 1.

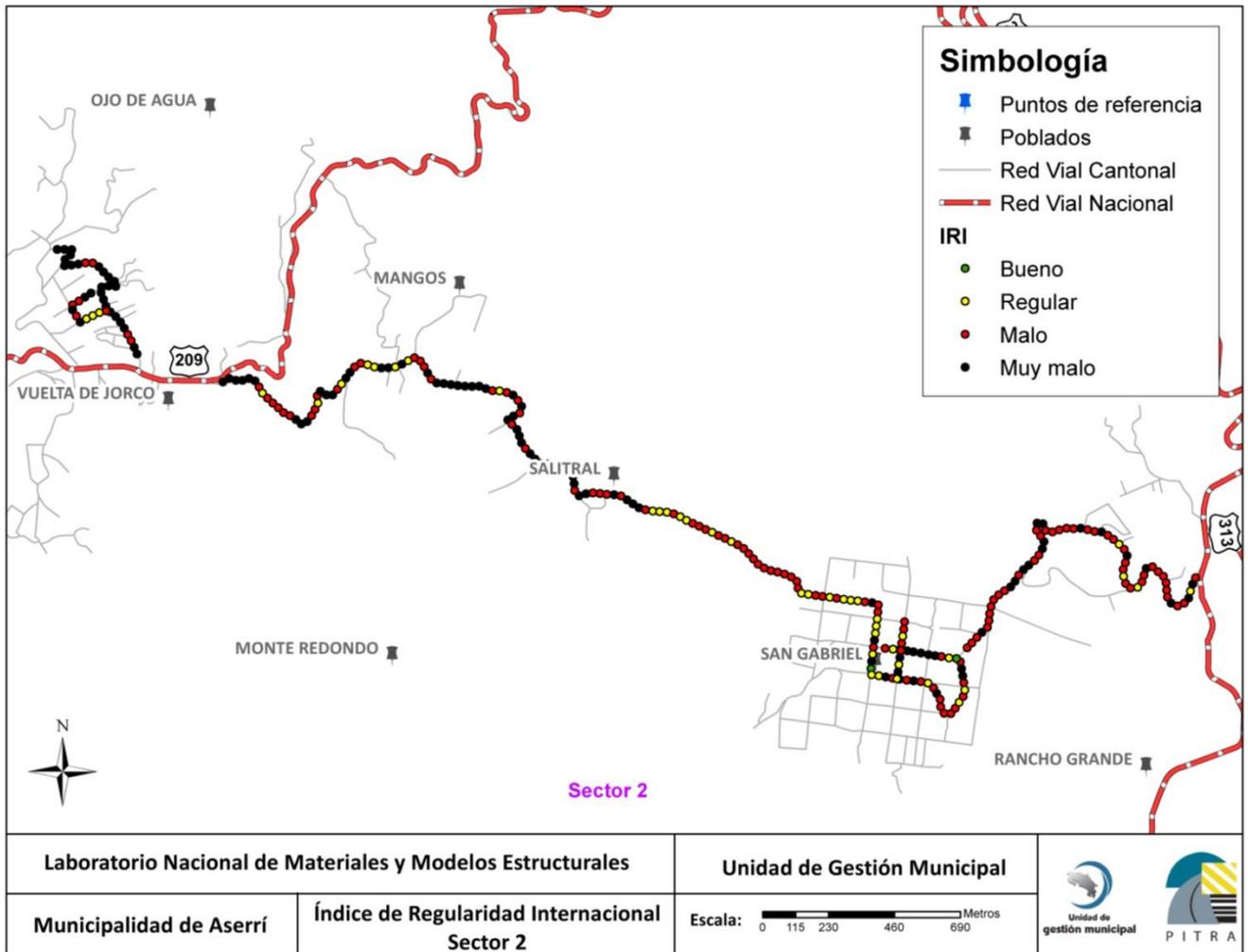


Figura 12. Condición del IRI en el cantón de Aserrí, Sector 2.

De acuerdo con el gráfico de la Figura 13, se observa que únicamente un 1% de las evaluaciones puntuales realizadas sobre la red en estudio se encuentra en una condición "Buena" y un 11% en condición Regular, pues el restante 88 % presenta condiciones en mal estado, lo cual se traduce en valores de IRI superiores a 6,4 m/km, es decir, una superficie de ruedo con nivel medio o bajo de confort, y por ende un aumento en los gastos de operación de los vehículos que transitan por la zona.

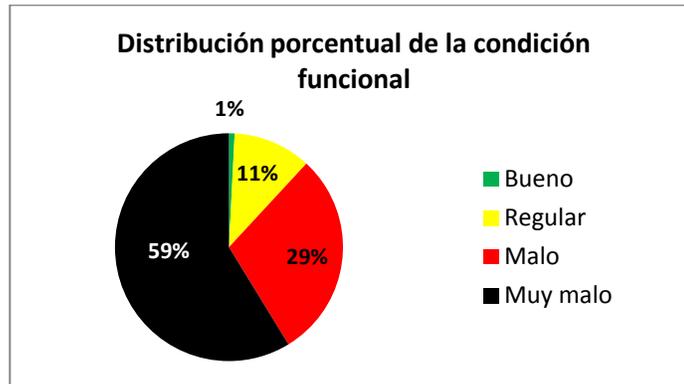


Figura 13. Distribución porcentual de la condición del IRI.

3.2.3 Evaluación de la condición estructural

La capacidad estructural de un pavimento está directamente relacionada con la respuesta ante las cargas a las que se ve expuesto, de manera que un pavimento con buena capacidad estructural presenta bajas deflexiones, y un pavimento con baja capacidad estructural presenta altas deflexiones.

La evaluación de la capacidad estructural se realizó con el equipo Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés), con una frecuencia de 50 metros durante el mes de marzo del 2013. El procedimiento para utilizar este equipo 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; en la Figura 14 se muestra el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.

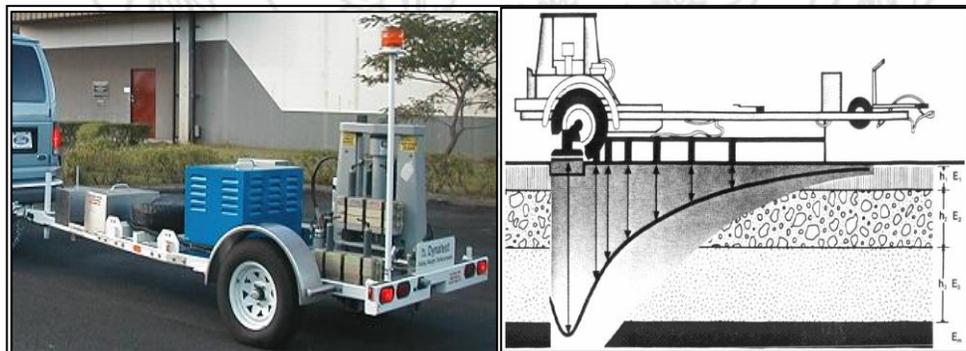


Figura 14. Deflectómetro de impacto.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Con el propósito de categorizar los resultados obtenidos de la evaluación estructural del pavimento, se utilizó un estudio realizado por el LanammeUCR en el cual se determinaron escalas de clasificación de valores de deflectometría, según categorías de TPD y tipo de base que compone la estructura del pavimento (granular o estabilizada con cemento). En la Figura 15, se presenta la clasificación de deflectometría para una estructura de pavimento con base granular en la red vial cantonal.

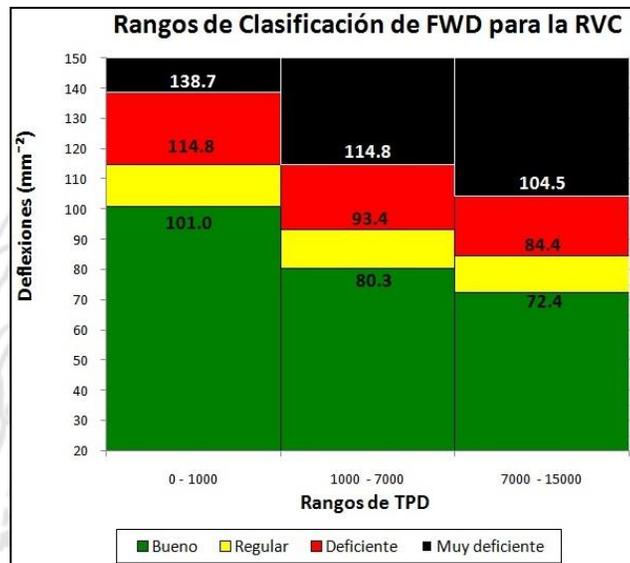


Figura 15. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base granular en la RVC.

Fuente: LanammeUCR, 2014.

En el apartado 3.2.1 *Tránsito Vehicular Diario* se mostró los resultados de TPD en algunas rutas estratégicas de la red en estudio por medio de la colocación de conteos vehiculares, sin embargo, de acuerdo con la Figura 15 se observa que para clasificar las deflexiones medidas en campo de un camino, es necesario conocer también el tipo de base que compone la estructura de pavimento (granular o estabilizada), razón por la cual se realizaron sondeos a cielo abierto e inspecciones visuales que permitieran conocer la composición de la estructura de pavimento en su totalidad.

A partir de estos dos últimos métodos se determinó la presencia de base estabilizada en las rutas que se indican en la Figura 16, por lo que la clasificación de sus deflexiones se basó en la escala que se muestra en la Figura 17, ya que su capacidad de resistencia a las cargas se incrementa como consecuencia de la presencia de este material.

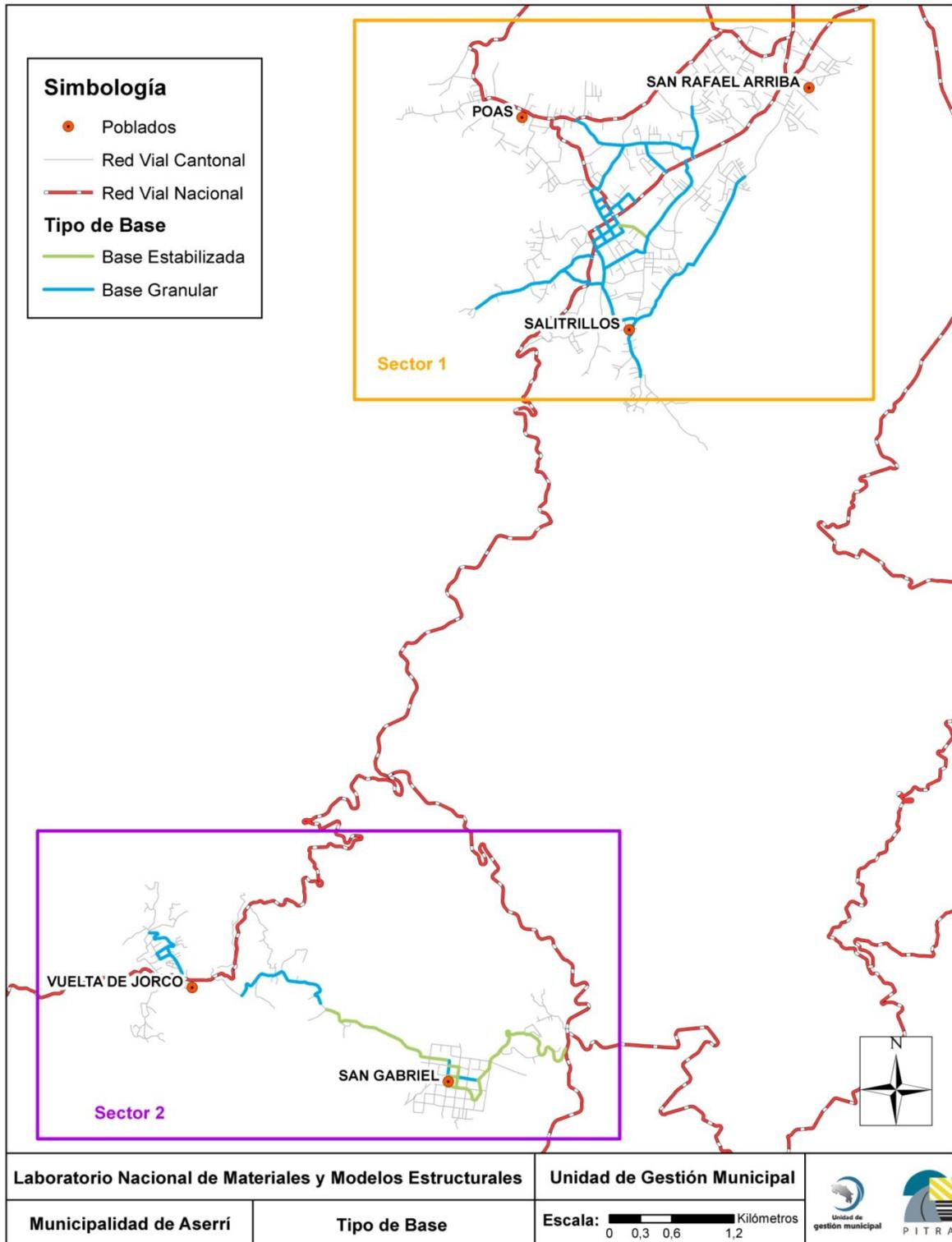


Figura 16. Tramos con presencia de base estabilizada en su estructura de pavimento.

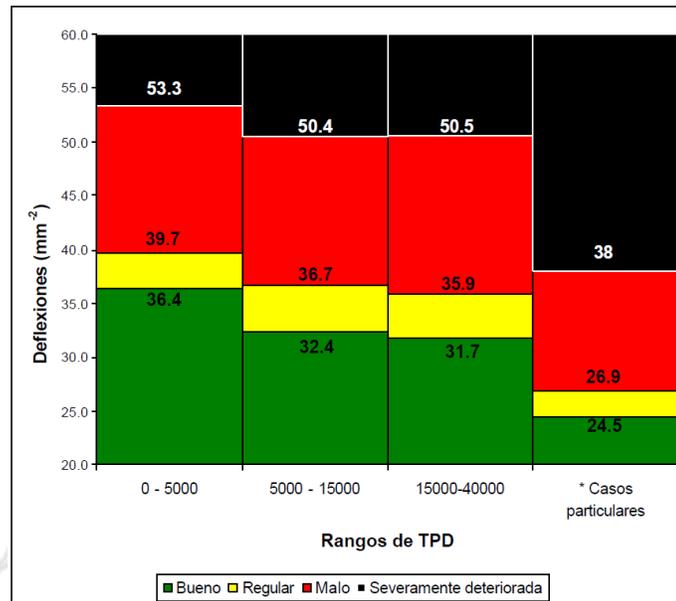


Figura 17. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base estabilizada.

A continuación en la Figura 18 y Figura 19 se muestran mapas con las evaluaciones puntuales de deflectometría debidamente clasificadas en las cuatro categorías de "Bueno", "Regular", "Deficiente" y "Muy deficiente", de acuerdo con el valor de su deflexión en el primer geófono, el TPD asignado y el tipo de base de su estructura de pavimento.

De acuerdo con el gráfico de la Figura 20 se observa que el 57% de las evaluaciones se encuentran en un buen estado estructural, y un 12% en un estado "Regular"; sin embargo, el 31% restante de las evaluaciones puntuales presenta algunas deficiencias para soportar las cargas que le transmite la demanda vehicular de la zona.

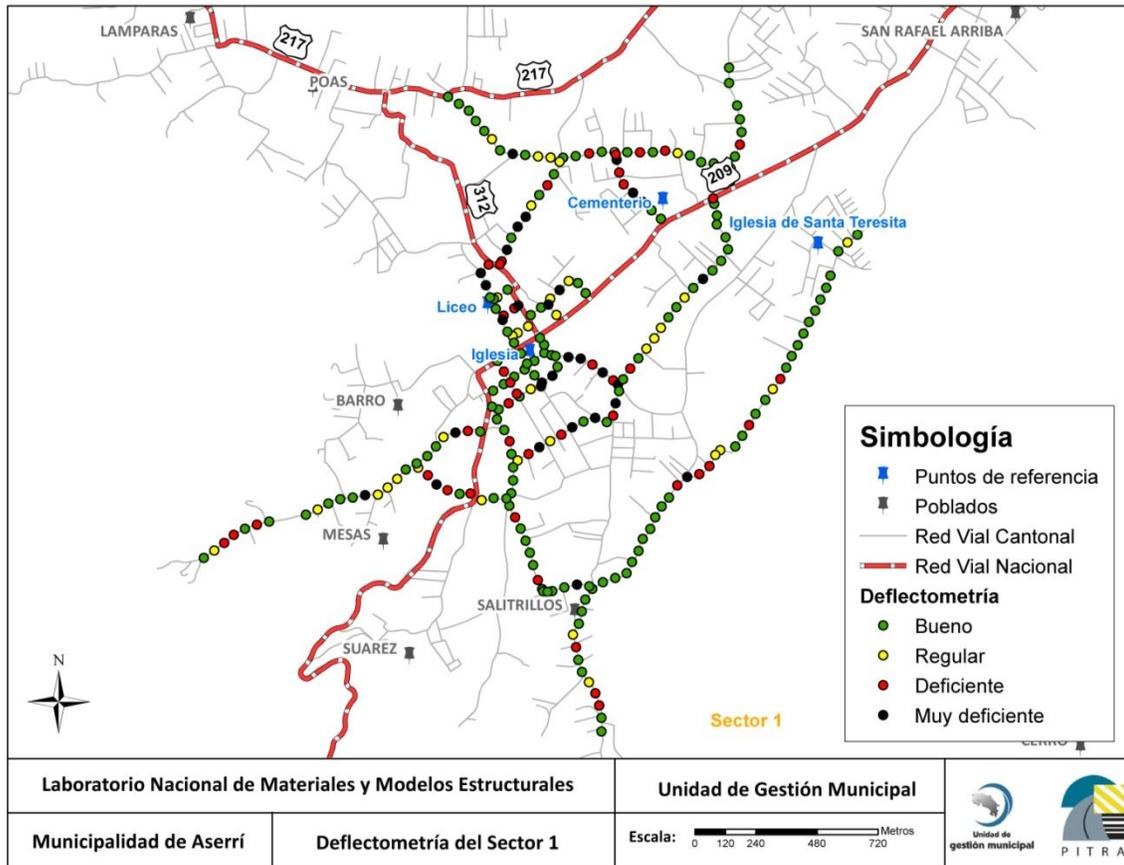


Figura 18. Condición del FWD para la localidad de Aserrí, Sector 1.

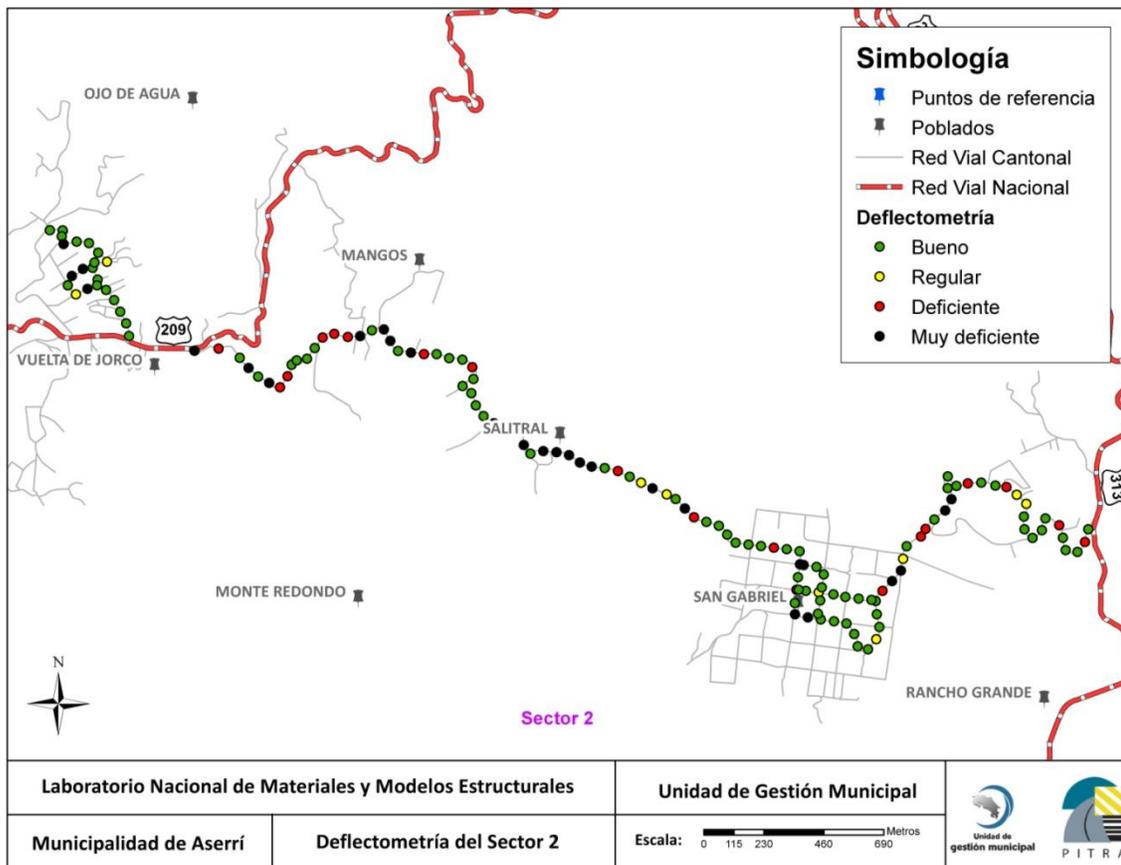


Figura 19. Condición del FWD para la localidad de Aserrí, Sector 2.

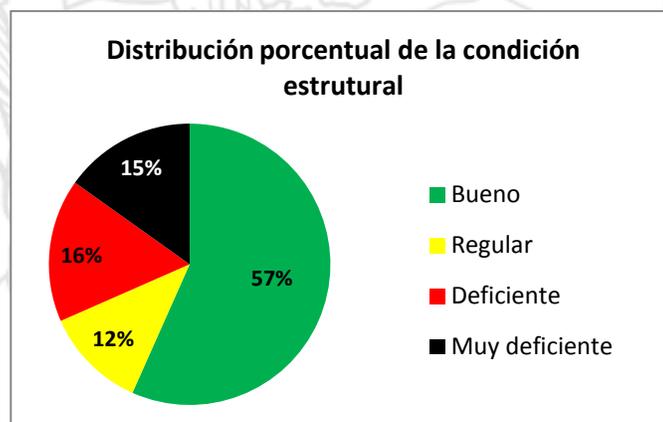


Figura 20. Distribución porcentual de la condición de FWD.

3.2.4 Caracterizar la estructura de pavimento

La caracterización de una estructura de pavimento se desarrolla por medio de ensayos de laboratorio y campo, los cuales se dividen en tres grupos:

1. Sondeos a cielo abierto para identificar la estructura del pavimento existente.
2. Caracterización de la sub-rasante por tipo de suelo.
3. Clasificación de sub-rasante según CBR.

En la Figura 21 se muestra un ejemplo de las principales capas presentes en un pavimento (la capa de base granular se sustituiría por una capa de base estabilizada en el caso de pavimentos rígidos).

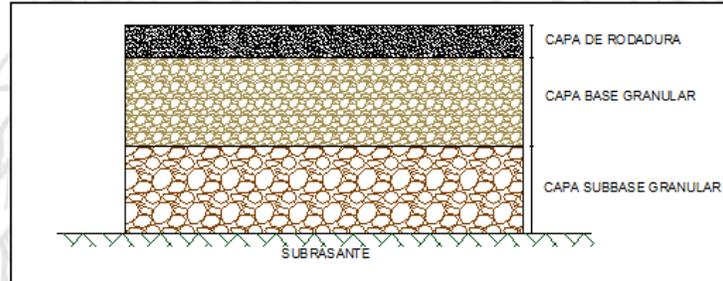


Figura 21. Ejemplo de estructura de pavimento.

3.2.4.1 Estructura del pavimento

Con el propósito de determinar los espesores de cada una de las capas de pavimento, se procedió a realizar 20 sondeos a cielo abierto en puntos estratégicos de la red vial en estudio, los cuales fueron seleccionados considerando la clasificación de las vías y los resultados de los ensayos de deflectometría. En la Tabla 2, se muestra los espesores obtenidos para cada uno de estos sondeos.

Tabla 2. Espesores de las capas del pavimento según los sondeos realizados.

Sondeo	CA (cm)	BE (cm)	BG (cm)	Otro (cm)	SB (cm)	Relleno (cm)	Otro (cm)
#1	3	0	15	0	0	0	0
#2	-	-	-	-	-	-	-
#3	5	0	0	0	0	30	0
#4	3	0	15	0	0	0	0
#5	4	0	15	0	0	15	0
#6	3	0	20	0	15	0	0
#7	4	0	20	0	0	0	0
#8	5	0	15	7	0	0	27
#9	2,5	0	0	0	0	4	0
#10	6	0	9	0	0	15	0
#11	8	0	15	0	0	0	0
#12	7	0	38	0	0	0	0
#13	7,5	0	25	0	0	40	0
#14	10	0	0	0	0	27	0
#15	4	15	25	0	0	25	0
#16	0	20	40	0	0	30	0
#17	2	20	10	0	0	6	25
#18	4	0	0	0	0	22	0
#19	2,5	0	0	0	0	15	0
#20	4	0	40	0	0	0	0
#21	3	0	0	0	0	7	0

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

CA: Carpeta asfáltica o tratamiento superficial.

BG: Base granular.

SB: Sub-base.

3.2.4.2 Caracterización de la sub-rasante

En cada sondeo a cielo abierto realizado se recolectó una muestra de suelo con el objetivo de realizar una caracterización de la sub-rasante que sirva de base para la toma de decisiones a futuro sobre las intervenciones a nivel de proyecto en los diferentes tramos de la red vial cantonal. En cada una de las muestras se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Granulometría
- Límites de Atterberg

- Gravedad específica

A continuación en la Tabla 3 se muestra los resultados de los ensayos de laboratorio de granulometría y límites de Atterberg (LL y LP). Sin embargo, es importante mencionar que no fue posible extraer una muestra de suelo en el sondeo #14, razón por lo que únicamente se midieron los espesores de las capas de su estructura de pavimento, mas no se determinó su tipo de suelo; el sondeo #2 tampoco se pudo realizar.

Tabla 3. 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	91,4	90,6	86,5	79,4	8,6	12	79,4	65,00	39,00	MH	A-7-6	A-7-6(25)
#2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#3	100	100	97,6	90,6	0	9,4	90,6	56,00	33,00	MH	A-7-5	A-7-5(25)
#4	97,4	96,1	92	77	2,6	20,4	77	50,00	31,00	MH	A-7-6	A-7-6(16)
#5	79,2	72,8	62,4	46,8	20,8	32,4	46,8	42,00	26,00	SC	A-7-6	A-7-6(4)
#6	88,9	85,6	80,6	73,8	11,1	15,1	73,8	44,00	31,00	ML	A-7-5	A-7-5(10)
#7	100	99,4	97,2	85,2	0	14,8	85,2	46,00	28,00	ML	A-7-6	A-7-6(17)
#8	99,1	98,7	97,5	58,9	0,9	40,2	58,9	35,00	19,00	CL	A-6	A-6(7)
#9	100	100	98,8	92,8	0	7,2	92,8	66,00	39,00	MH	A-7-5	A-7-5(32)
#10	71,7	66	56,4	43,3	28,3	28,4	43,3	41,00	27,00	SC	A-7-6	A-7-6(3)
#11	88,6	84,9	76,3	60,6	11,4	28	60,6	49,00	27,00	CL	A-7-6	A-7-6(12)
#12	97	95,8	93,1	86,6	3	10,4	86,6	54,00	25,00	CH	A-7-6	A-7-6(28)
#13	96,2	94,2	83	66,2	3,8	30	66,2	64,00	43,00	MH	A-7-5	A-7-5(16)
#14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#15	88,9	81,3	71,4	45,1	11,1	43,8	45,1	69,00	50,00	SC	A-7-5	A-7-5(6)
#16	69,9	55,1	37,3	23,5	30,1	46,4	23,5	50,00	35,00	SC	A-2-7	A-2-7(0)
#17	91,1	79,1	49,1	27,6	8,9	63,5	27,6	31,00	25,00	SM-SC	A-2-4	A-2-4(0)
#18	80,4	63,5	45,5	32	19,6	48,4	32	48,00	32,00	SC	A-2-6	A-2-6(0)
#19	90,6	81,5	66,6	50,7	9,4	39,9	50,7	49,00	26,00	CL	A-7-6	A-7-6(9)
#20	78,5	73,7	67	54,6	21,5	23,9	54,6	47,00	30,00	ML	A-7-5	A-7-5(7)
#21	100	100	96,8	85,9	0	14,1	85,9	72	52	MH	A-7-5	A-7-5(26)

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

FG: Fracción gruesa.

FS: Fracción arena.

CF: Cantidad de finos.

LL: Límite Líquido.

LP: Límite Plástico.

N°4: Tamiz N° 4, 750 mm de diámetro.

N°10: Tamiz N°10, 2.0 mm de diámetro.

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

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

A partir de estos ensayos de laboratorio es posible determinar características propias de cada suelo mediante las clasificación de SUCS y AASHTO, y su índice de resistencia para resistir carga mediante el cálculo de CBR.

Clasificación SUCS

A partir de los datos generados en el laboratorio, referentes a la granulometría y los límites de consistencia, se clasificó la sub-rasante según el sistema de clasificación del SUCS. En la Tabla 4, 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):

Tabla 4. Grupos de suelos y características según la clasificación SUCS.

Tipos de suelo	Descripción
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.

Fuente: Instituto Colombiano de Geología y Minería, 2004.

En la Figura 22 y Figura 23 se presenta un mapa con el tipo de suelo encontrado en cada uno de los sondeos según esta metodología, y se obtuvo que los tipos de suelos predominantes corresponden a un material fino MH (limos de alta plasticidad) en un 30 % de los sondeos, y un material SC (arena arcillosa) en un 25 %.

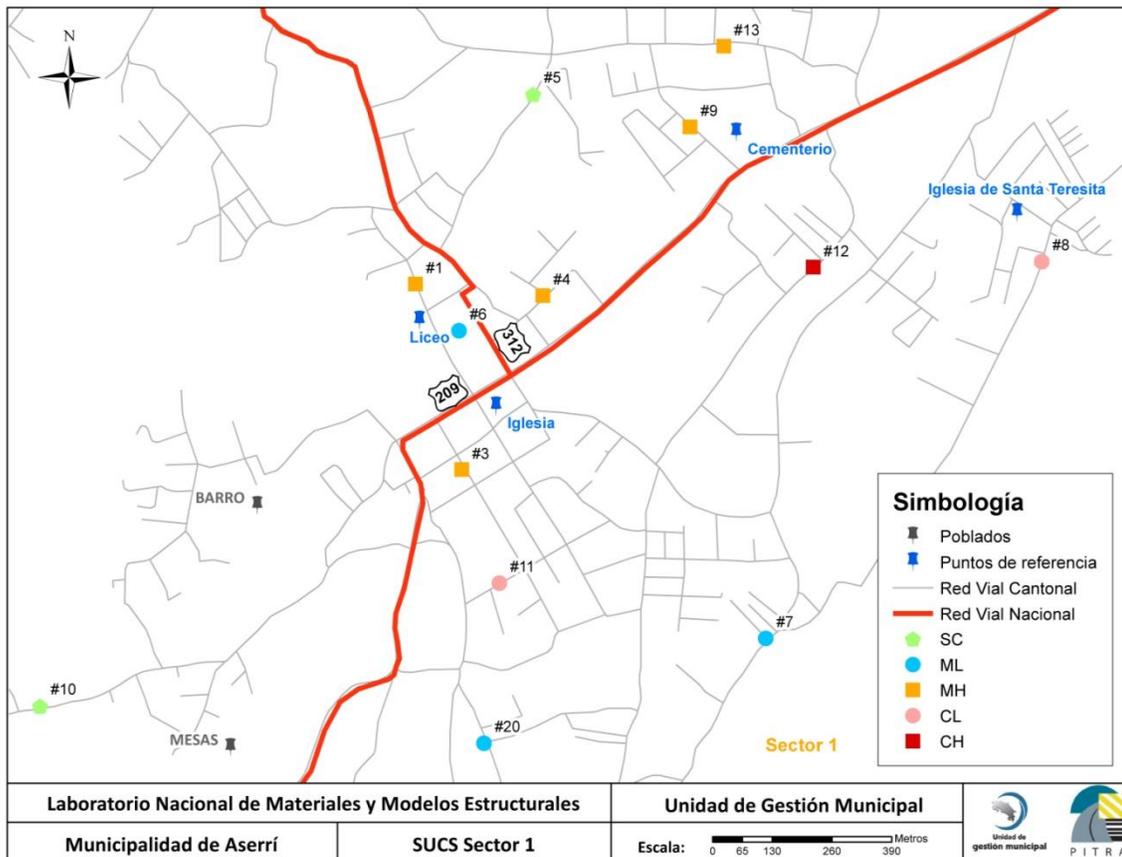


Figura 22. Caracterización de suelos según SUCS en Aserrí, Sector1.

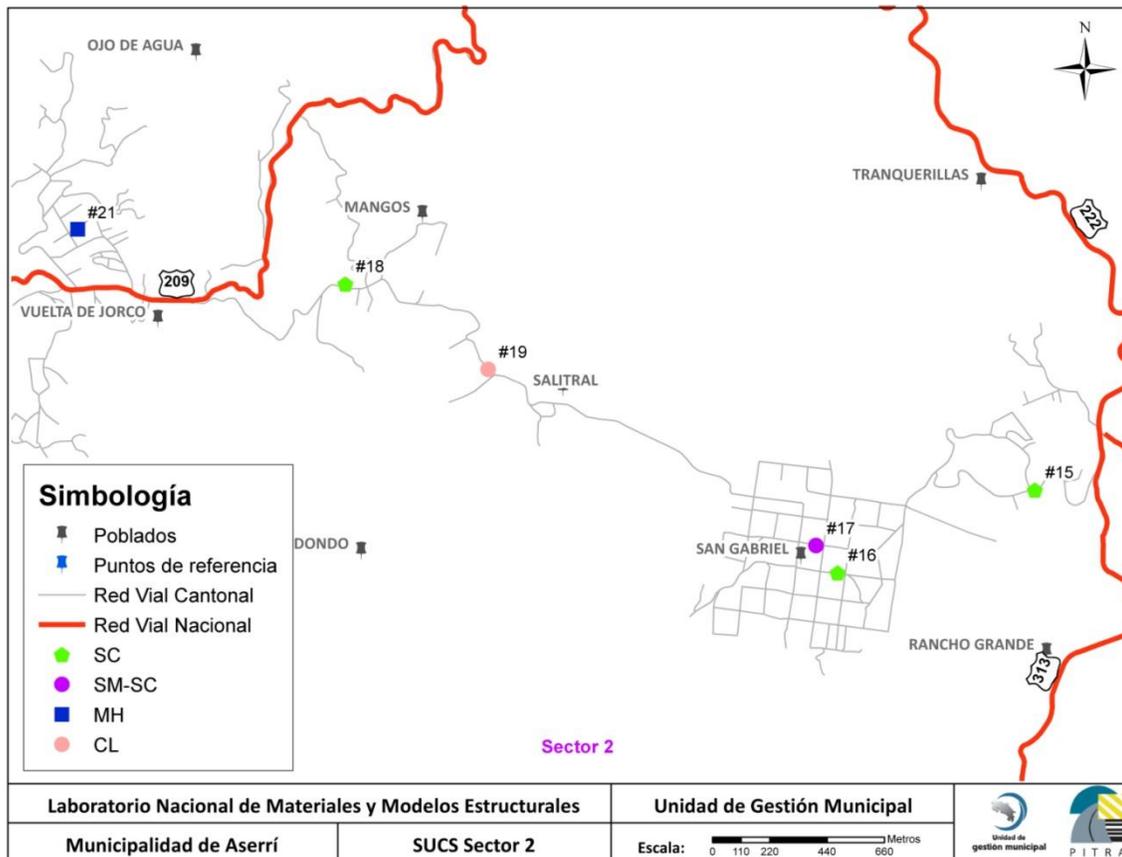


Figura 23. Caracterización de suelos según SUCS en Aserri, Sector 2.

Clasificación AASHTO

Por medio de las muestras de suelo obtenidas en cada uno de los sondeos, se realizó su clasificación según la metodología AASHTO, la cual analiza el suelo como material para carreteras. Esta descripción general del tipo de suelo 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 pasa 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 principalmente de materia orgánica parcialmente descompuesta; generalmente 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 sub-rasantes. Tales materiales son altamente compresibles y tienen una baja resistencia al corte.

En la Figura 24 y la Figura 25 se muestra un mapa con el tipo de suelo según la clasificación AASHTO encontrado en cada uno de los sondeos a cielo abierto que se realizaron en puntos

estratégicos de la red vial de estudio. Se puede apreciar que los tipos de suelos representativos corresponden en un 40% a un suelo A-7-6 (materiales finos con un Índice de Plasticidad elevado, un Límite Líquido elevado y posibilidades de presentar un gran potencial de expansión), y un 35% a un tipo A-7-5 (materiales finos con un Índice de Plasticidad moderado, un Límite Líquido elevado y posibilidades de presentar un gran potencial de expansión).

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.

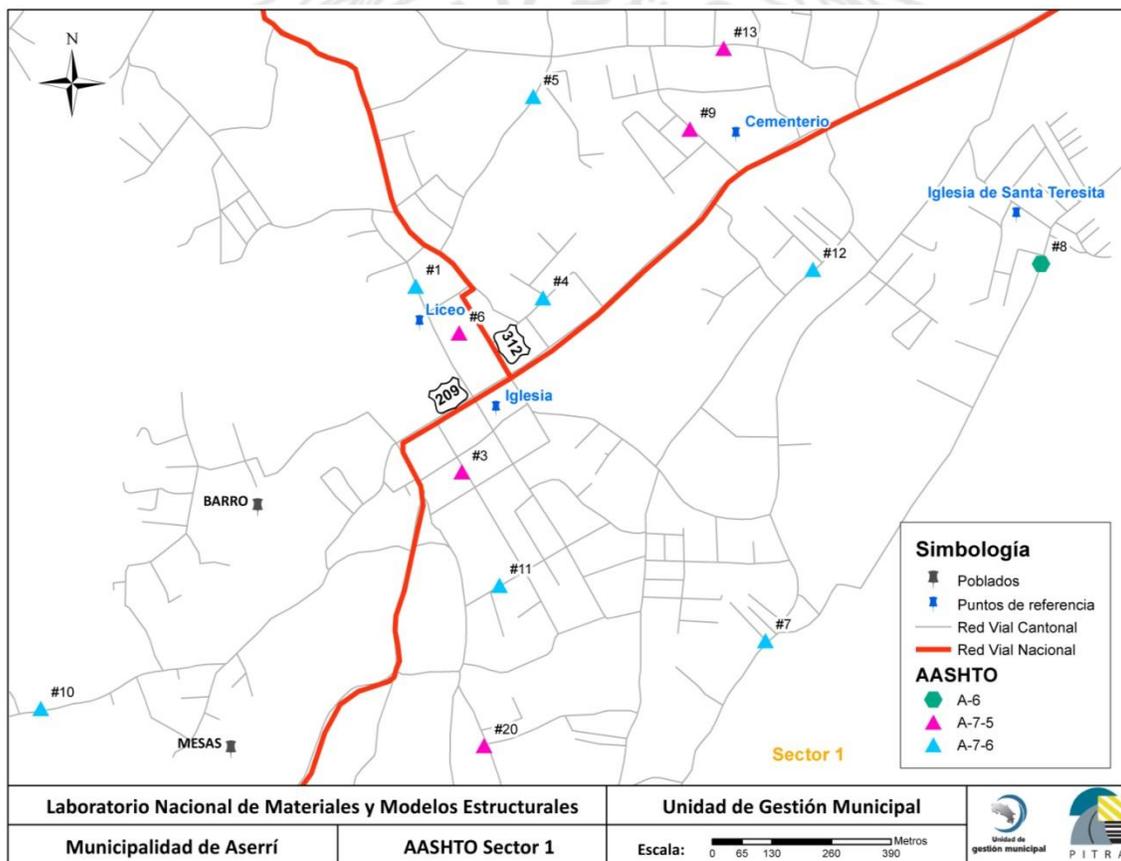


Figura 24. Caracterización según AASHTO en la localidad de Aserrí, Sector 1.

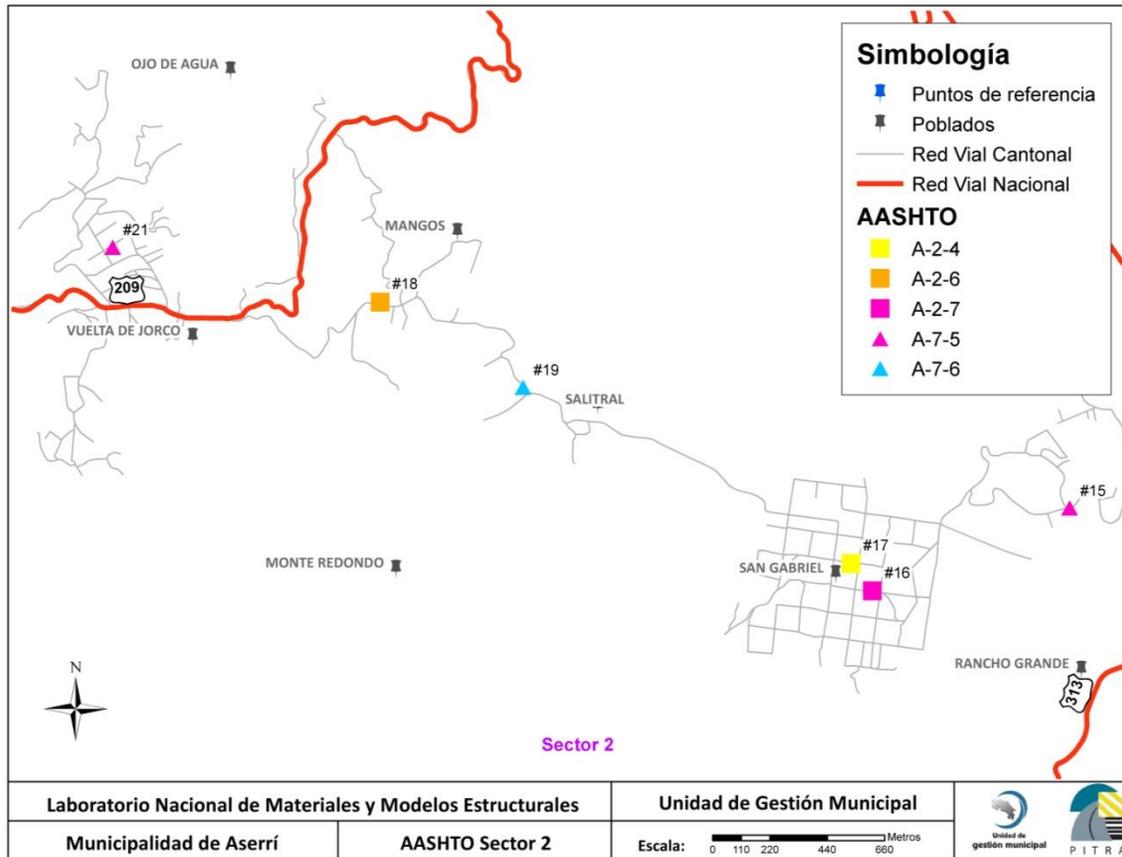


Figura 25. Caracterización según AASHTO en la localidad de Aserrí, Sector 2.

3.2.4.3 Clasificación de subrasante según CBR

El valor de CBR en sitio proporciona un índice de la capa de la sub-rasante a resistir alguna carga que se le aplique, y corresponde a una medida indirecta obtenida a partir del penetrómetro (registra la resistencia a la penetración), también llamado Índice del cono (CI) y se mide en unidades de (psi) libras por pulgada cuadrada; en la Figura 26 se muestra la prueba realizada en sitio.



Figura 26. Prueba de CBR en sitio.
Fuente: LanammeUCR, 2008.

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 la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación del CBR.

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

Fuente: Bowles, J., 1981.

En el mapa de la Figura 27 y Figura 28 se muestran los resultados de CBR obtenidos para cada sondeo (como se mencionó anteriormente, en el sondeo #2 y #14 no se recolectó muestra de suelo, ni se realizaron las mediciones con el anillo de carga, por lo que no se dispone de datos del índice de cono que permitan determinar el valor de CBR.

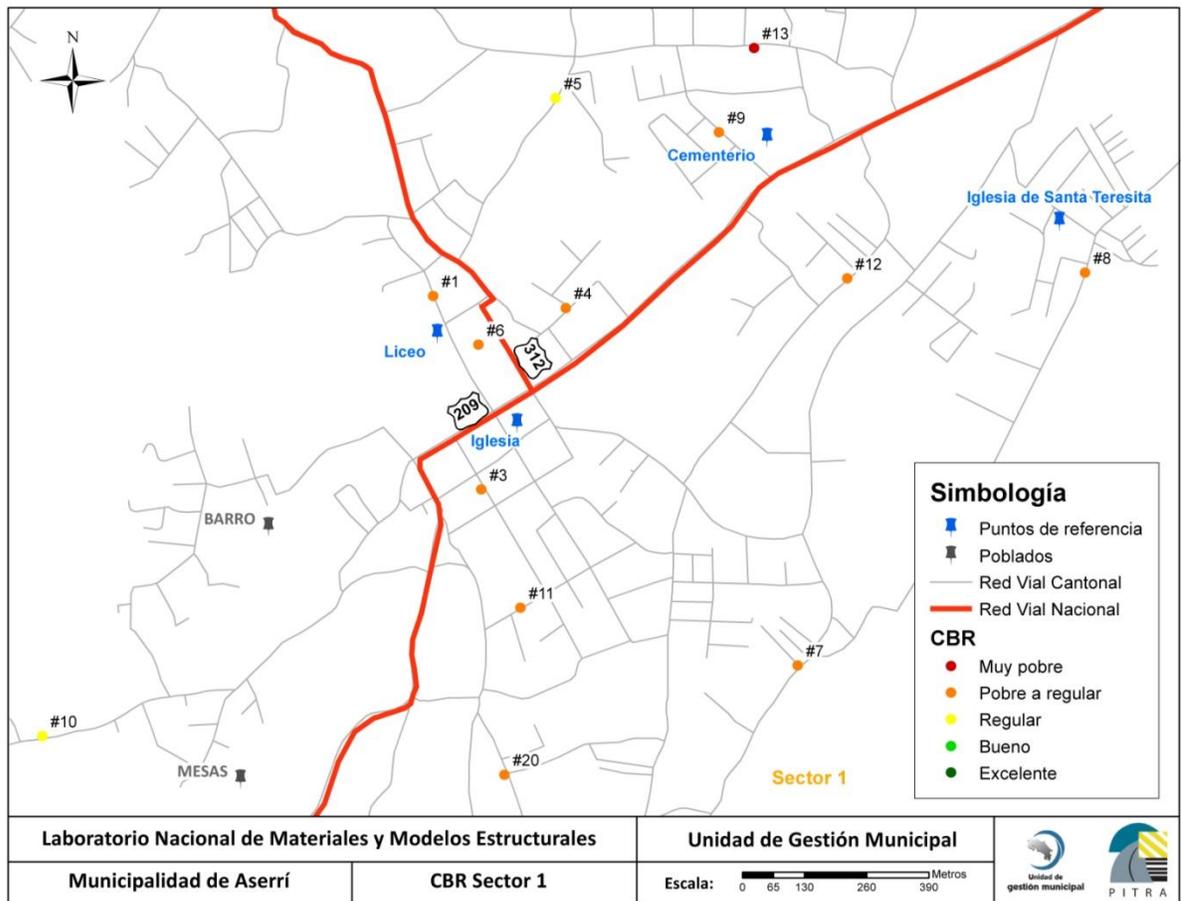


Figura 27. Clasificación del CBR según Bowles, Sector 1.

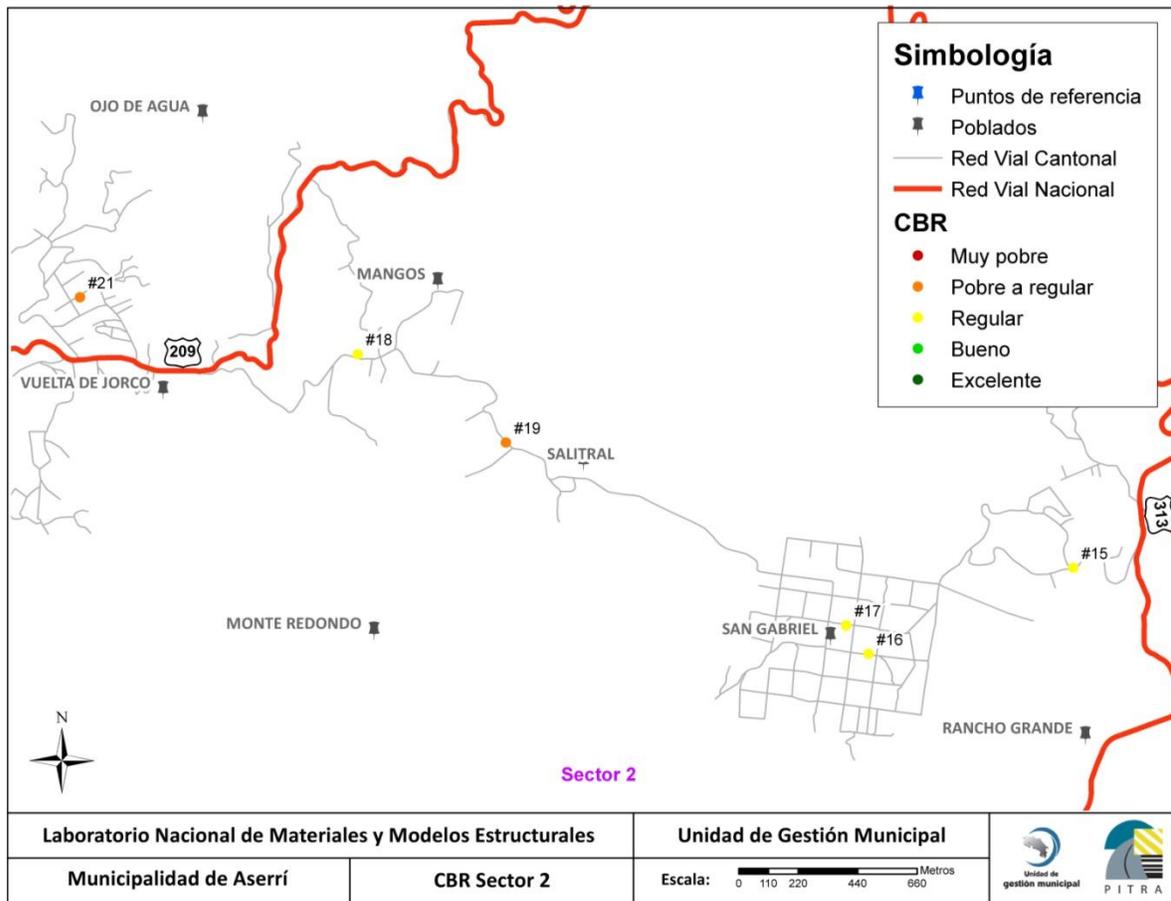


Figura 28. Clasificación del CBR según Bowles, Sector 2.

A continuación en la Tabla 6, se muestra el índice de cono y los parámetros a y b seleccionados para el cálculo de CBR de acuerdo con el tipo de suelo.

Tabla 6. Índice de resistencia CBR.

Sondeo	CI	a	b	CBR	Observaciones
#1	241,00	0,0820	0,7174	4,2	
#2*	-	-	-	-	-
#3	220,00	0,0820	0,7174	3,9	
#4	219,58	0,0820	0,7174	3,9	
#5	224,55	1,1392	0,4896	16,1	CBR límite alto del rango según tipo suelo, verificar a nivel de proyecto.
#6	221,67	0,1111	0,7390	6,0	
#7	238,57	0,1111	0,7390	6,4	
#8	132,00	0,1266	0,6986	3,8	
#9	190,83	0,0820	0,7174	3,5	

Sondeo	CI	a	b	CBR	Observaciones
#10	209,1	1,1392	0,4896	15,6	CBR límite alto del rango según tipo suelo, verificar a nivel de proyecto.
#11	128,6	0,1266	0,6986	3,8	
#12	234,0	0,1264	0,6979	5,7	Suelo suave durante ensayo, verificar a nivel de proyecto.
#13	135,4	0,0820	0,7174	2,8	
#14*	-	-	-	-	-
#15	195,0	1,1392	0,4896	15,1	CBR límite alto del rango según tipo suelo, verificar a nivel de proyecto.
#16	224,0	1,1392	0,4896	16,1	
#17	259,0	1,1392	0,4896	17,3	
#18	232,0	1,1392	0,4896	16,4	
#19	214,1	0,1266	0,6986	5,4	Suelo suave durante ensayo, verificar a nivel de proyecto.
#20	170,0	0,1111	0,7390	4,9	Suelo suave durante ensayo, verificar a nivel de proyecto.
#21	177,50	0,0820	0,7174	3,4	

* No fue posible realizar mediciones con el anillo de carga.

3.2.5 Definir tramos homogéneos

Los tramos homogéneos son secciones de la vía que poseen características similares, definidos con el objetivo de aplicar una solución única en una longitud moderada, pues a nivel operativo no es funcional que el tipo o diseño de la intervención requerida varíe en pocos metros.

Para determinar los tramos homogéneos se utilizan los siguientes criterios:

- Longitud mínima por tramo de 300 m (podría ser menor longitud si existiese una desviación estándar elevada entre las diversas mediciones de deflectometría que conforman el tramo).
- Tramos con una relación de la desviación estándar y la media (s/m) mayor que 0,45 se consideran como *tramos no uniformes*.

Los tramos homogéneos fueron definidos mediante el método de diferencias acumuladas establecido por AASHTO 93, a partir de la información de deflectometría; sin embargo, es importante mencionar que hubo casos especiales en los cuales se definió tramos homogéneos de relaciones entre la desviación estándar y la media superiores a 0,45 con el objetivo de evitar seccionar excesivamente la red vial evaluada.

Adicionalmente, una vez definidos los tramos homogéneos mediante el método de diferencias acumuladas se procedió a realizar una inspección visual y se identificó la necesidad de reformar algunos de los tramos ya que presentaban condiciones heterogéneas.

Finalmente, se obtuvo un total de 44 tramos homogéneos a partir de los aproximadamente 13 km evaluados; en la Tabla 7 se presenta la longitud de cada uno de ellos, y en la Figura 29 y Figura 30 se muestra su ubicación exacta.

Los tramos homogéneos número 11, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 36, 39 y 41 fueron analizados con una escala de rangos de deflectometría especial (según se detalló en el apartado 3.2.3 *Identificar condición estructural*), ya que de acuerdo con la información presentada en la Tabla 2, en su estructura se encontró la presencia de una base estabilizada (ver que la ubicación de los sondeos 15, 16 y 17 coincide con estos tramos).

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

Tabla 7. Longitud de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Aserrí.

TH	Long (m)	TH	Long (m)	TH	Long (m)
#1	366	#16	99	#31	144
#2	305	#17	253	#32*	191
#3	94	#18	496	#33*	227
#4	93	#19	100	#34*	132
#5	92	#20	104	#35	197
#6	82	#21	257	#36*	96
#7	384	#22	110	#37*	199
#8	171	#23	305	#38	140
#9	338	#24	127	#39*	194
#10	83	#25	764	#40	139
#11*	305	#26	295	#41*	382
#12	448	#27	707	#42	170
#13	918	#28*	489	#43	767
#14	507	#29*	601	#44	453
#15	470	#30*	282		

* Tramos homogéneos analizados con presencia de base estabilizada.

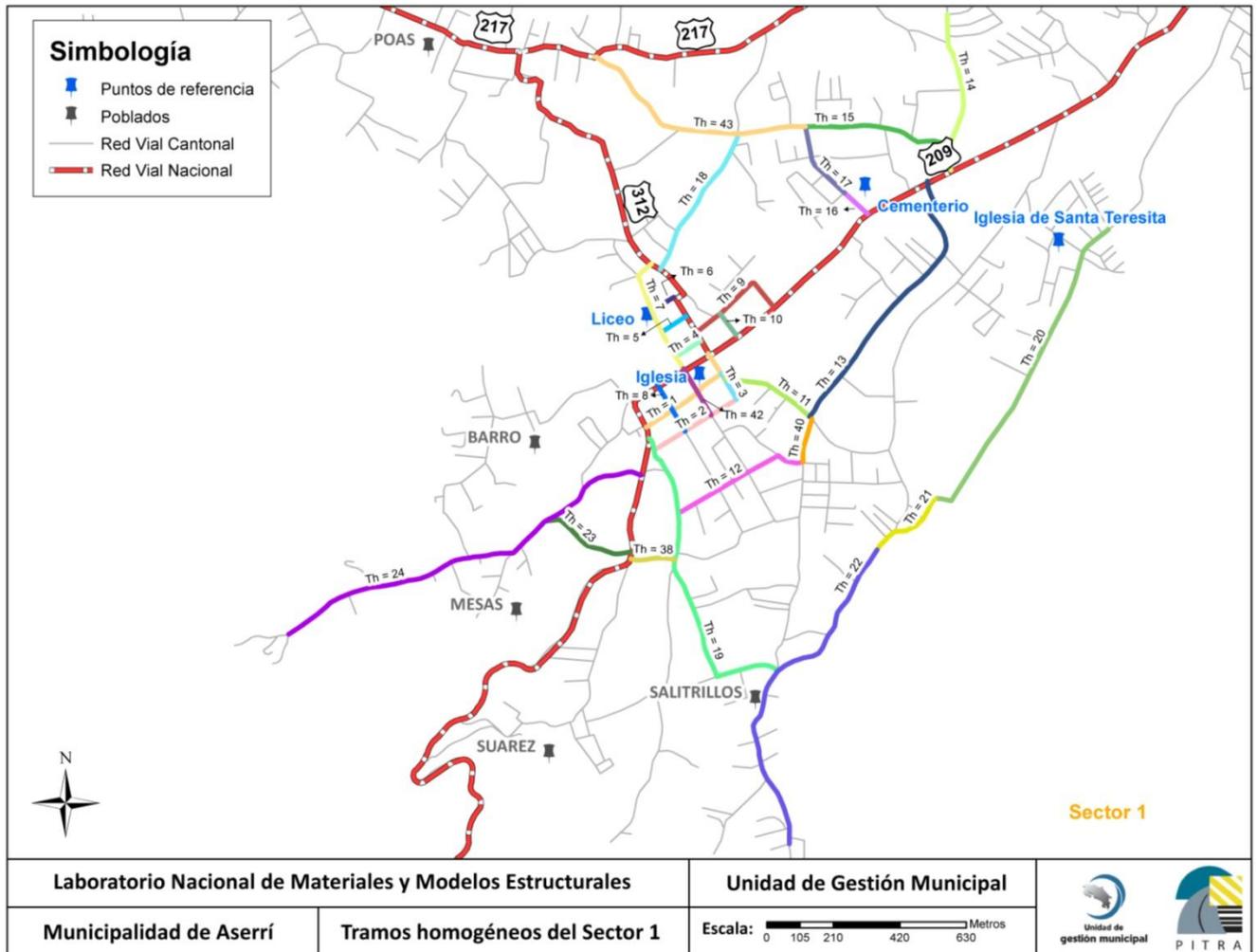


Figura 29. Ubicación de tramos homogéneos del Sector 1.

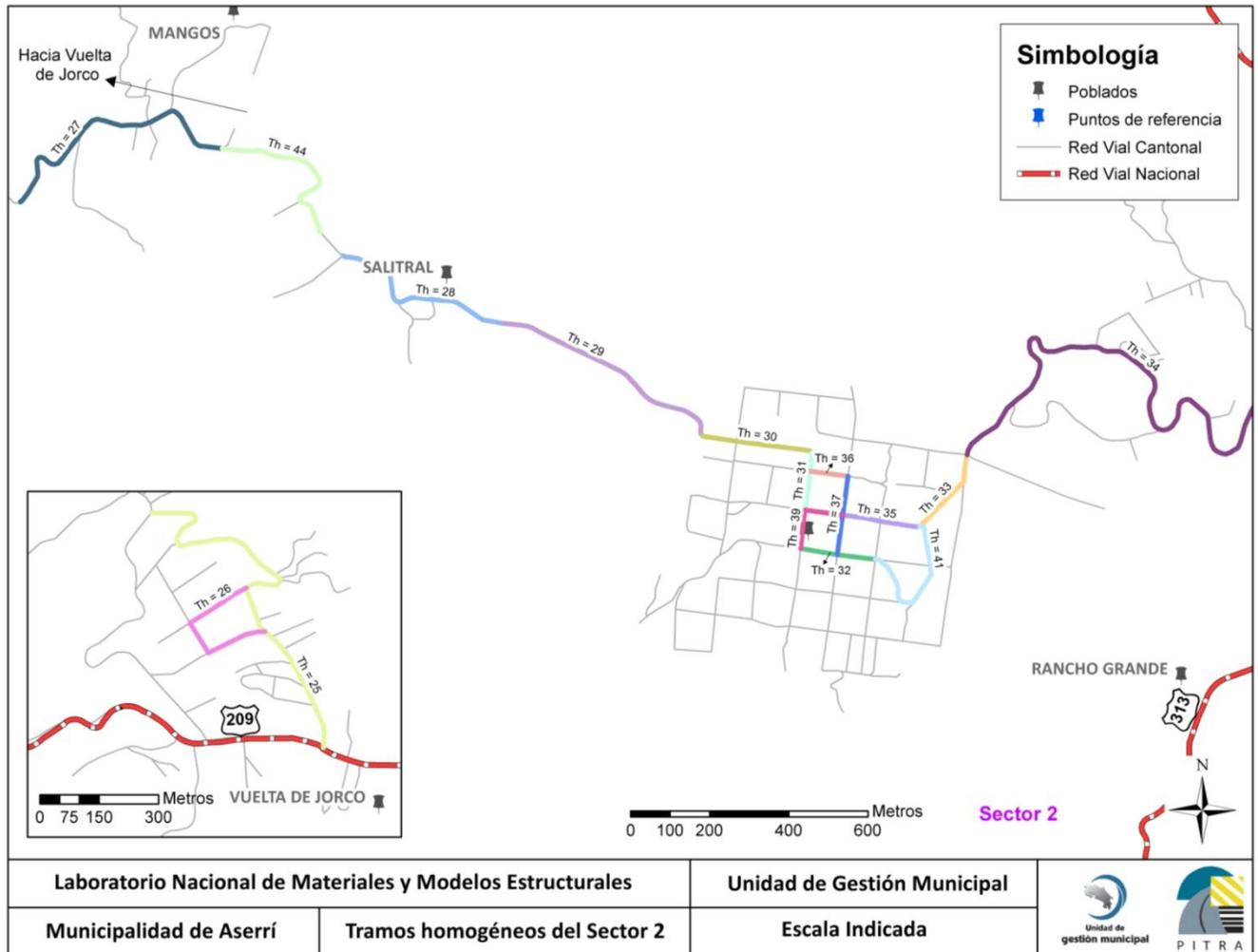


Figura 30. Ubicación de tramos homogéneos del Sector 2.

3.2.5.1 Deflexión Promedio

La categorización de los tramos con base en su condición estructural se realiza de acuerdo con las evaluaciones de deflectometría, el TPD y el tipo de base que conforme la estructura del pavimento, según las clasificaciones mostradas anteriormente en la Figura 15 y Figura 17, ya sea para casos con tipo de base granular o estabilizada, respectivamente.

El valor de deflectometría asignado a cada tramo, corresponde a la deflectometría promedio de las evaluaciones puntuales que lo componen. A continuación en la Figura 31 y Figura 32, se presenta un mapa con la categoría a la que corresponde cada tramo homogéneo, y en los

gráficos de la Figura 33 y Figura 34 se resume la cantidad de tramos y la cantidad de metros lineales correspondientes a cada uno de las categorías de evaluación.

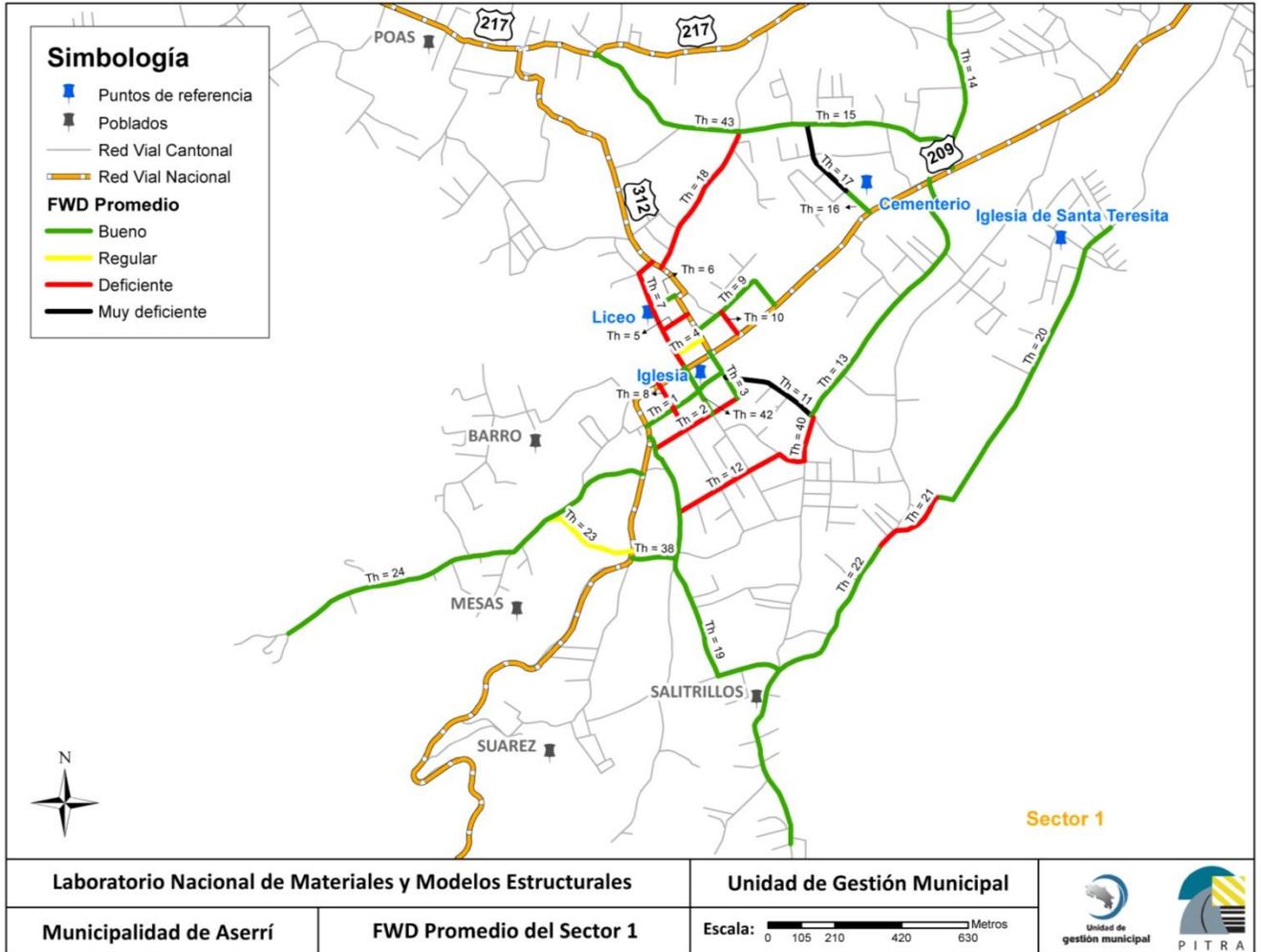


Figura 31. Deflectometría promedio de las vías analizadas en Aserrí, Sector 1.

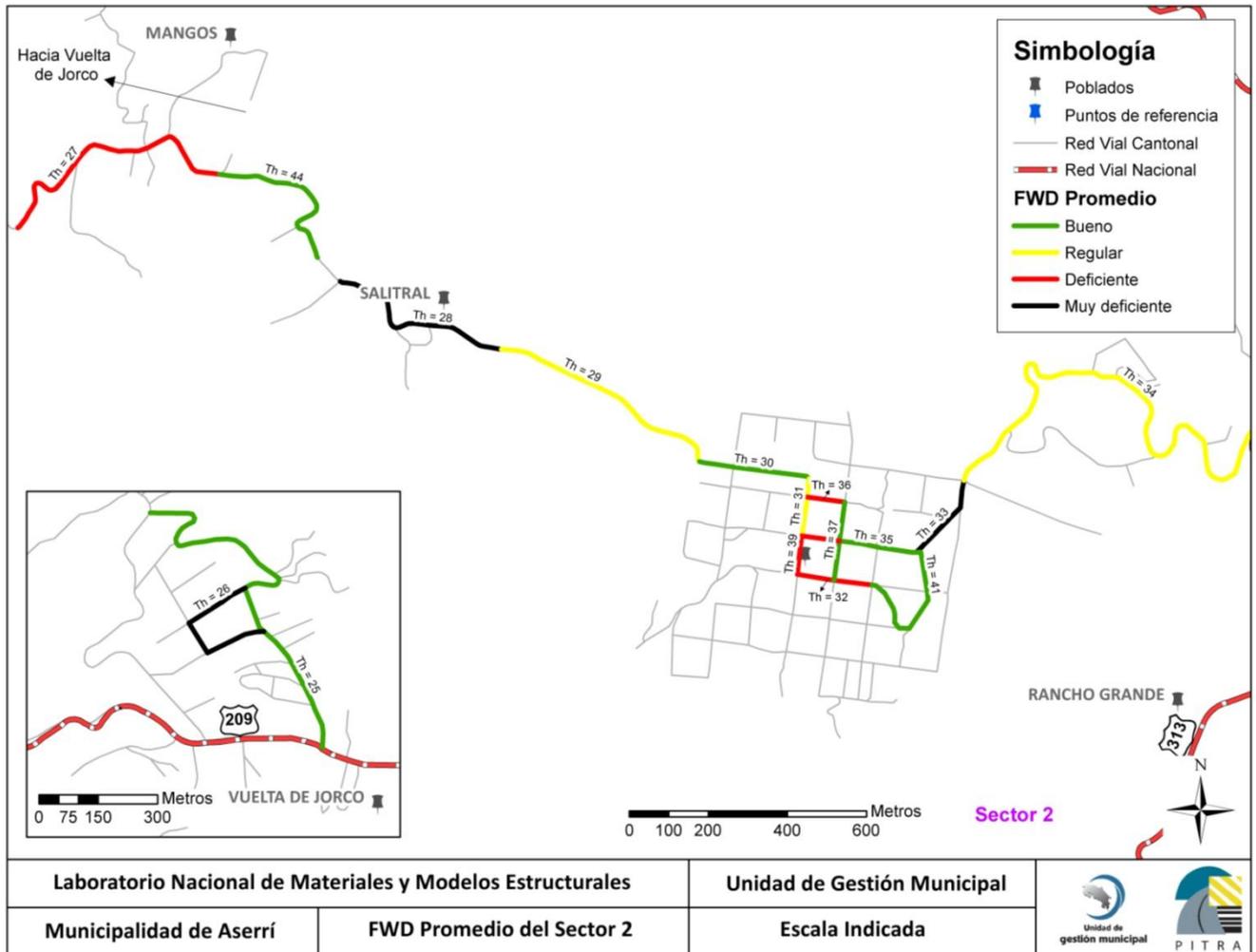


Figura 32. Deflectometría promedio de las vías analizadas en Aserrí, Sector 2.

De acuerdo con los datos de la Figura 34, se muestra que un 51% de la red evaluada (correspondiente a 21 de los tramos homogéneos, equivalentes a 6,7km) se encuentra en la categoría de "Buena", y por lo tanto es capaz de resistir las cargas del tránsito vehicular que circula sobre ella. Sin embargo, es importante mencionar que solamente 664 m corresponden rutas que presentan algún tipo de base estabilizada en su estructura.

En su contraparte, aproximadamente 5 km de la red en estudio (un 39% de la red evaluada) presenta deficiencias y requiere de intervenciones que le permitan recuperar su capacidad estructural (un 12% de esta longitud se ubicó en la categoría de "Muy deficiente"). El restante 10% presenta condiciones Regulares de deflectometría.

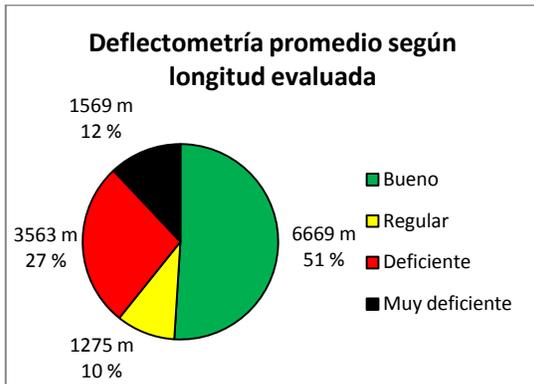


Figura 33. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio.

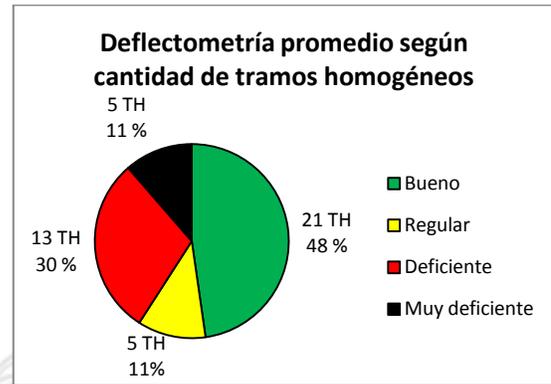


Figura 34. Porcentaje de tramos clasificados según FWD promedio.

3.2.5.2 IRI promedio

De la misma forma como se clasificó el IRI en la sección 3.2.2.1, se realizó una caracterización a cada tramo por medio de los valores promedio ($IRI_{promedio}$), los cuales son mostrados gráficamente en la Figura 35 y Figura 36.

En los gráficos de la Figura 37 y Figura 38 se presenta la distribución porcentual de los resultados obtenidos de IRI según la cantidad de tramos homogéneos y la cantidad de metros lineales evaluados. En ellos, es posible observar que en ninguno de los tramos se obtuvo un valor menor a 3,6 m/km, y por lo tanto, no se encuentra ningún en la categoría de “Buena” condición funcional; así como también se puede observar que en el tramo homogéneo número 36 no se realizaron mediciones con el Perfilómetro Inercial Láser.

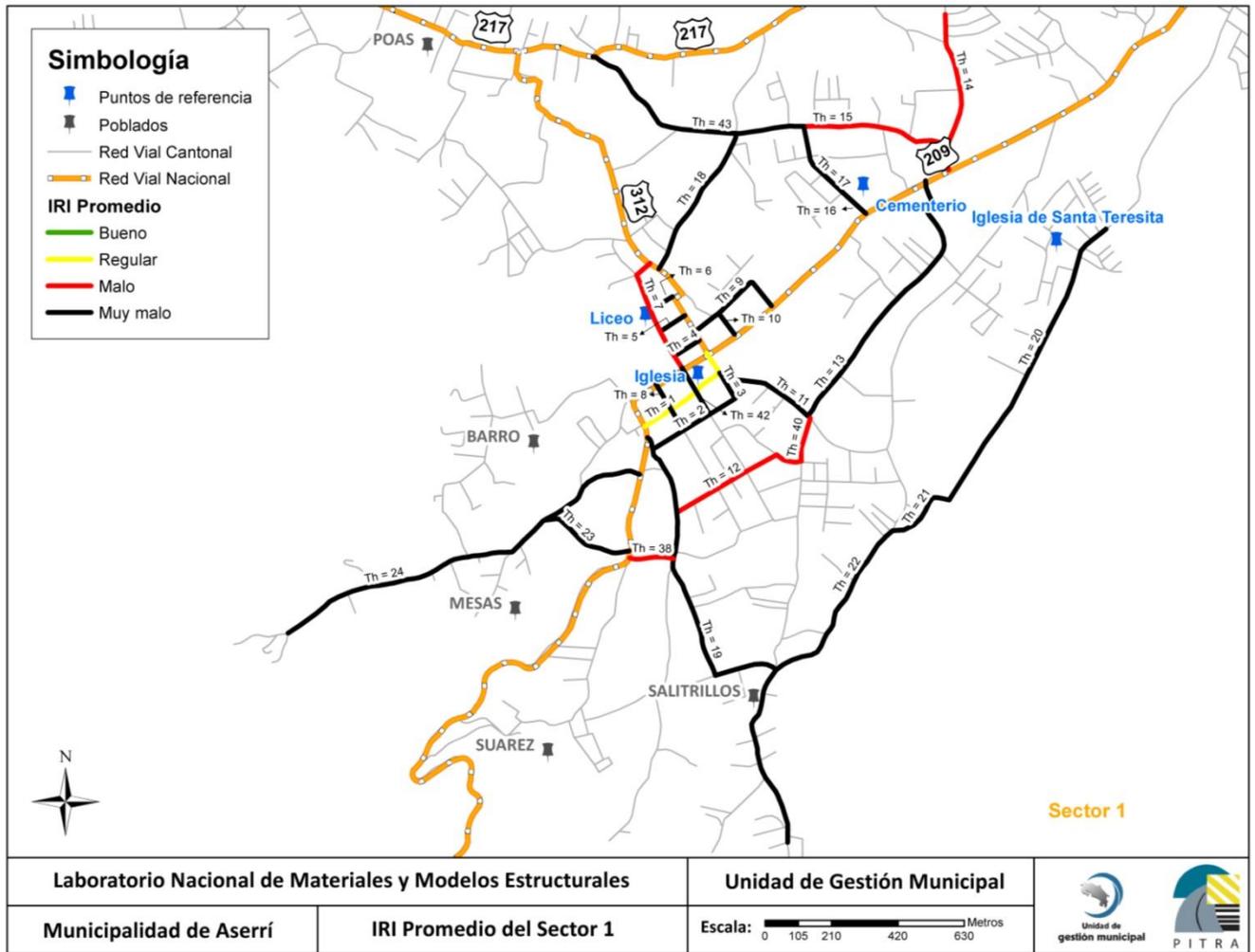


Figura 35. IRI promedio de las vías analizadas en Aserrí, Sector 1.

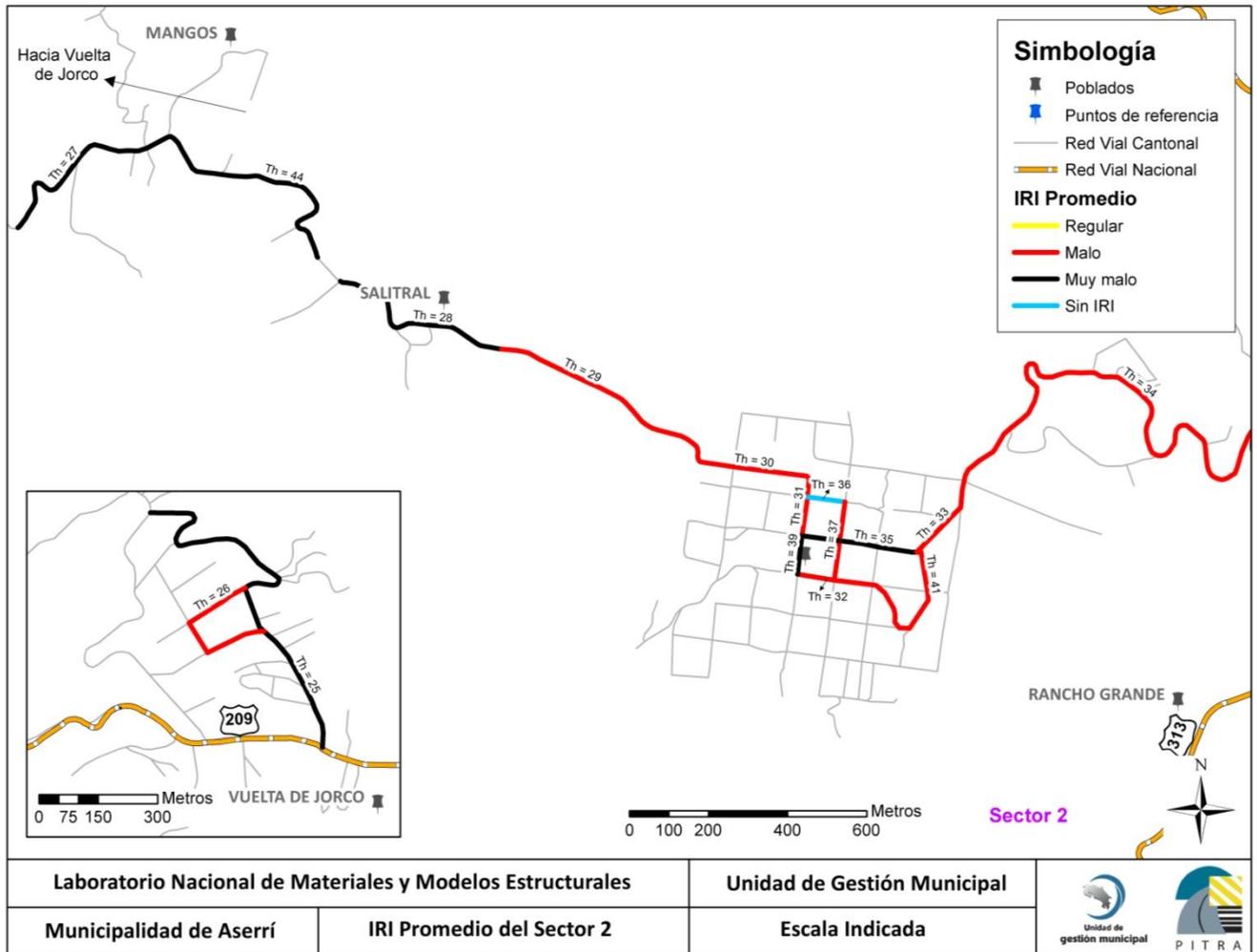


Figura 36. IRI promedio de las vías analizadas en Aserrí, Sector 2.

De acuerdo con los gráficos de la Figura 37 y Figura 38 se observa que el 96% (aproximadamente, 12,6 km) de la rutas evaluadas presenta valores de IRI mayores a 6,4 m/km, lo cual representa un costo de operación mayor, aumento en el tiempo de viaje, y un desplazamiento poco confortable para los usuarios de la vía. Además, como consecuencia de las cargas dinámicas generadas por el golpeteo que le generan los vehículos a la calzada al movilizarse sobre ella, se ocasiona un deterioro acelerado de la estructura de pavimento.

Por lo tanto, de los 44 tramos homogéneos evaluados, únicamente un tramo de 366 m de longitud se encuentra en la categoría de "Regular", y el otro tramo corresponde a aquel en el cual no se obtuvo mediciones de IRI.

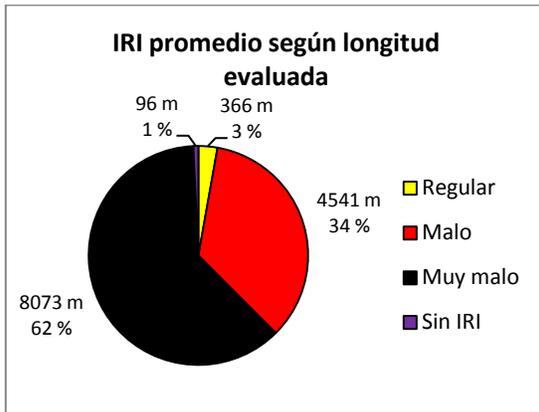


Figura 37. Porcentaje de metros lineales clasificados según el IRI promedio.

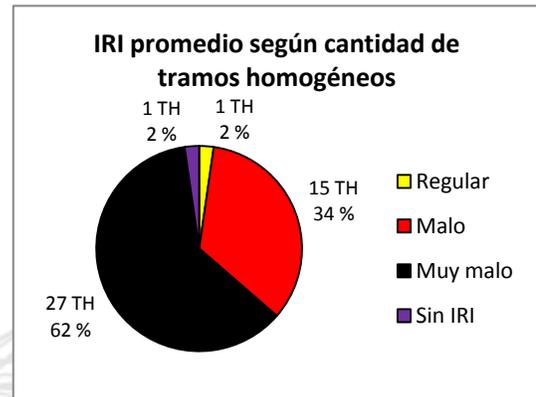


Figura 38. Porcentaje de tramos clasificados según el IRI promedio.

3.2.6 Notas Calidad

Las **Notas de Calidad** son indicadores que permiten definir la estrategia de intervención más adecuada a nivel de gestión, y son definidos con base en los análisis previos que se le han realizado a los tramos homogéneos según sus condiciones estructurales y funcionales mediante los ensayos de deflectometría e IRI, respectivamente.

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

La metodología utilizada para la evaluación de la red vial municipal es una adaptación de la metodología 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 8 se presenta la matriz que establece las notas de calidad en función de los valores de IRI y FWD obtenidos en los ensayos. Es importante mencionar que la matriz se encuentra compuesta de cuatro filas y cuatro columnas, según cada una de las categorías de IRI y FWD, respectivamente.

Se debe rescatar que los rangos de IRI en cada una de las 4 filas de matriz se mantienen constantes y son independientes del tipo de estructura que se esté analizando; sin embargo, los rangos numéricos de FWD en cada una de las columnas variará según: el tipo de base de la estructura que se analiza y el TPD de la ruta, es decir, se mantiene el orden de las categorías, mas sus rangos son cambiantes según las variables mencionadas anteriormente.

Tabla 8. Matriz para determinar las notas de calidad en una estructura de pavimento.

IRI (m/km) \ FWD (10^{-2} mm)	Bueno	Regular	Deficiente	Muy deficiente
Bueno (0-3,6)	Q1	Q3	Q6	R-1
Regular (3,6-6,4)	Q2	Q5	Q8	R-2
Malo (6,4-10,0)	Q4	Q7	Q9	R-3
Muy malo (mayor 10,0)	M-RF	RH-RF	R-3	NP

El uso de colores en la Tabla 8 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 muestra en la Tabla 8 está asociada a una descripción de las condiciones generales en las que se encuentran los tramos, así como la intervención que se recomienda a nivel de red. Esta descripción, al igual que la Tabla 8, es 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 rueda estos pavimentos pasarán a las categorías M-RF o Q7 en el mediano plazo. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de mediano costo que se enfoquen a atender la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo.
- M-RF: En esta categoría se encuentran estructuras con un deterioro funcional extremo que afecta significativamente la velocidad del tránsito. Presentan grandes baches y grietas profundas en la carpeta asfáltica. El deterioro se presenta en más de la mitad de la superficie, comprometiendo la capacidad estructural del pavimento.



Debido al deterioro en la capa de ruedo, en el corto plazo estos pavimentos pasarán a la categoría RH-RF. Los tramos que presentan esta categoría son candidatos a intervenciones de tipo de mantenimiento de alto costo, enfocadas en recuperar la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo para evitar un mayor deterioro de la capacidad estructural.

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

estructural y funcional de estos pavimentos los convierte en candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida a corto plazo.

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

3.2.6.2 Notas de calidad en la red vial evaluada

Las notas de calidad se asignaron según el procedimiento descrito en la sección 3.2.6 utilizando la Tabla 8, donde los parámetros utilizados para la asignación de cada nota de calidad son el IRI y la deflectometría promedio caracterizada según el tipo de base de la estructura de pavimento y el flujo vehicular.

A continuación, se presentan los datos de IRI y deflectometría promedio asignados a cada uno de los tramos homogéneos con base en los cuales se determinaron las Notas de calidad, así como su longitud respectiva (ver Tabla 9). En la Figura 39 y Figura 40 se muestra mediante una simbología de colores la nota de calidad de cada tramo.

Tabla 9. Nota de calidad asignada a cada tramo analizado en la localidad de Aserrí.

TH	Longitud (m)	FWD promedio	IRI promedio	Nota Q
1	366	Bueno	Regular	Q2
2	305	Deficiente	Muy malo	R-3
3	94	Bueno	Muy malo	M-RF
4	93	Regular	Muy malo	RH-RF
5	92	Deficiente	Muy malo	R-3
6	82	Bueno	Muy malo	M-RF
7	384	Deficiente	Malo	Q9
8	171	Deficiente	Muy malo	R-3
9	338	Bueno	Muy malo	M-RF
10	83	Deficiente	Muy malo	R-3
11	305	Muy deficiente	Muy malo	NP
12	448	Deficiente	Malo	Q9
13	918	Bueno	Muy malo	M-RF
14	507	Bueno	Malo	Q4
15	470	Bueno	Malo	Q4
16	99	Bueno	Muy malo	M-RF
17	253	Muy deficiente	Muy malo	NP
18	496	Deficiente	Muy malo	R-3
19	100	Bueno	Muy malo	M-RF
20	104	Bueno	Muy malo	M-RF
21	257	Deficiente	Muy malo	R-3
22	110	Bueno	Muy malo	M-RF
23	305	Regular	Muy malo	RH-RF
24	127	Bueno	Muy malo	M-RF
25	764	Bueno	Muy malo	M-RF
26	295	Muy deficiente	Malo	R-3
27	707	Deficiente	Muy malo	R-3
28	489	Muy deficiente	Muy malo	NP
29	601	Regular	Malo	Q7
30	282	Bueno	Malo	Q4
31	144	Regular	Malo	Q7
32	191	Deficiente	Malo	Q9
33	227	Muy deficiente	Malo	R-3
34	132	Regular	Malo	Q7
35	197	Bueno	Muy malo	M-RF
36	96	Deficiente	Sin IRI	Sin IRI
37	199	Bueno	Malo	Q4
38	140	Bueno	Malo	Q4
39	194	Deficiente	Muy malo	R-3
40	139	Deficiente	Malo	Q9
41	382	Bueno	Malo	Q4
42	170	Bueno	Muy malo	M-RF
43	767	Bueno	Muy malo	M-RF
44	453	Bueno	Muy malo	M-RF

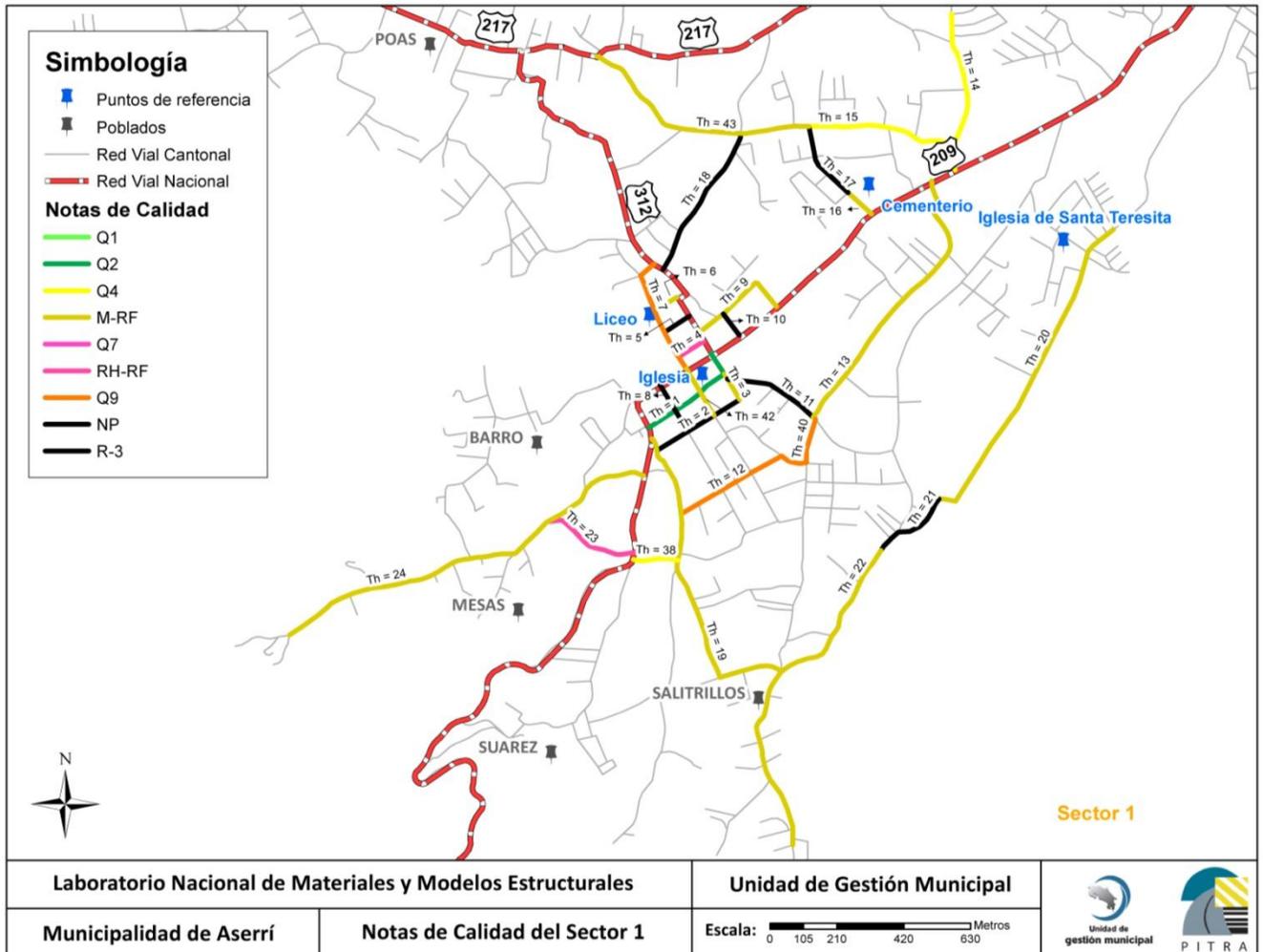


Figura 39. Notas de calidad asignadas a cada tramo homogéneo, Sector 1.

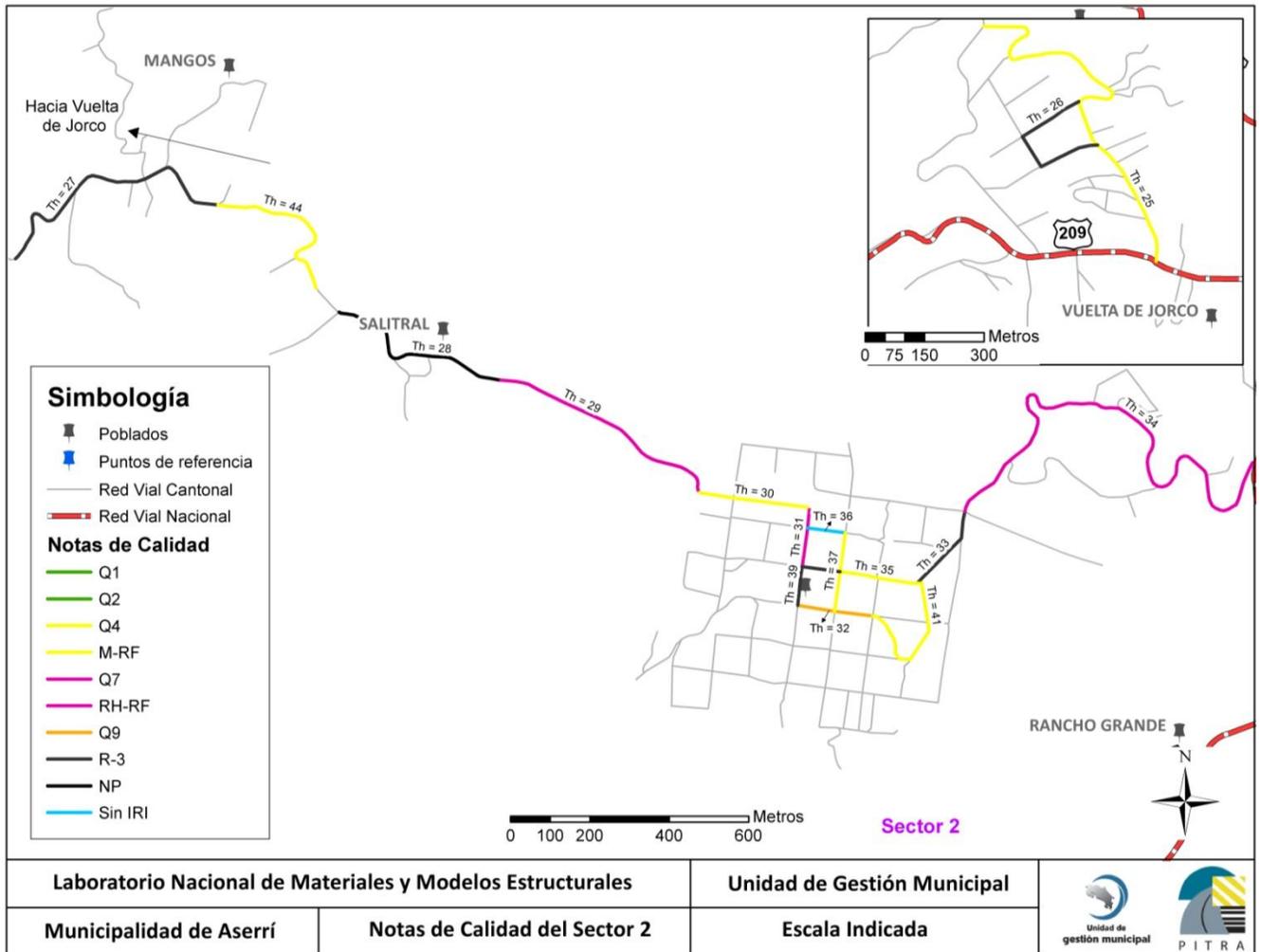


Figura 40. Notas de calidad asignadas a cada tramo homogéneo, Sector 2.

En el gráfico de la Figura 41 se muestra la clasificación de los 13 km evaluados aproximadamente, en cada uno de los tipos de notas de calidad. La categoría que más longitud presenta es la nota de calidad M-RF con 4,3 km, seguida de la nota R-3 con 2,8 km; es importante mencionar que la parte en color morado del gráfico corresponde al tramo en que no se evaluó el IRI.

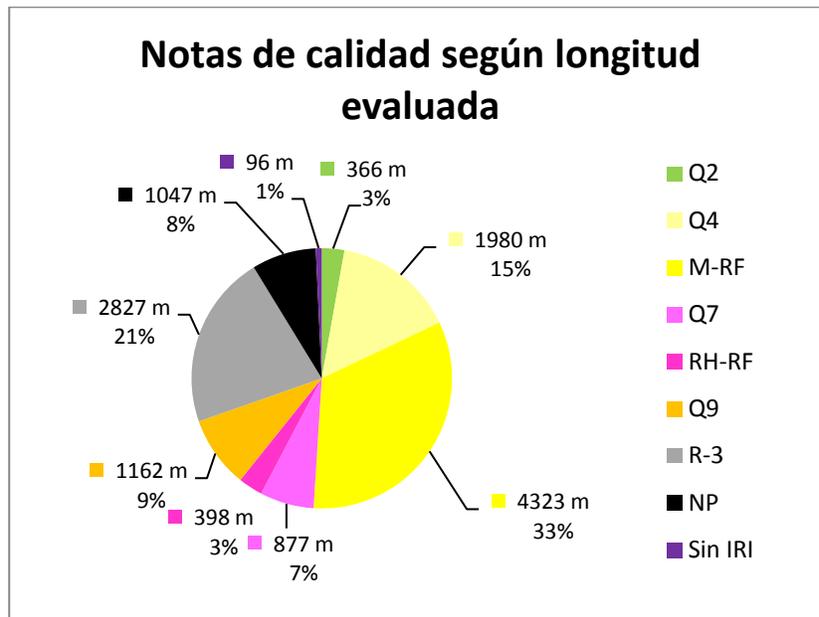


Figura 41. Distribución porcentual de las notas de calidad asignadas a los tramos homogéneos analizados en Aserrí.

3.3 Tipos de intervención

La elaboración de tramos homogéneos y su posterior análisis por medio de notas de calidad que involucran la condición estructural y funcional del pavimento al momento de la evaluación, permite definir diferentes tipos de intervención a nivel de gestión que sean acordes con las deficiencias que presentan.

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 planteadas a nivel de red sean ajustadas para que luego sean empleadas a un nivel táctico-operativo, esto con el objetivo de generar el diseño de las intervenciones a nivel de proyecto y, posteriormente, determinar 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 se presentan a continuación, y han sido adaptadas a la red vial cantonal con base en el informe LM-PI-UE-05-11 del LanammeUCR para evaluar la condición de la red vial nacional:

- **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 a la capacidad estructural. En estos casos se puede considerar labores de sustitución de la superficie de ruedo, recuperando los espesores existentes con material nuevo, o el uso de geotextiles para retardar el reflejo de grietas y una labor de perfilado o recuperación de la calzada. Este tipo de intervenciones deberían ser ejecutadas con prioridad alta, para evitar que la gran irregularidad superficial provoque un daño en la capacidad estructural.
- **Análisis a nivel de proyecto:** Se requiere de una evaluación detallada del tramo con el fin de definir mejor el tipo de intervención adecuada.
- **Rehabilitación Menor:** Permite recuperar la capacidad estructural en niveles intermedios así como la capacidad funcional en niveles críticos. En estos tramos se podría aplicar un perfilado y una sobrecarpeta.
- **Rehabilitación Mayor:** Los tramos que califican para este tipo de intervención requieren una recuperación importante de la capacidad estructural. Por lo que se recomienda un perfilado y la colocación de una nueva sobrecarpeta que responda a un diseño estructural que considere la capacidad estructural remanente de la sección existente para un período de diseño determinado.

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

En la Figura 42 se presenta el tipo de intervención que corresponde a nivel de red de acuerdo con las notas de calidad obtenidas por los tramos homogéneos según su capacidad funcional y estructural. Es necesario hacer énfasis en la diferencia entre el tipo de intervención identificada en color anaranjado y la de color 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 se deteriorarán rápidamente siendo requerida una reconstrucción del pavimento.

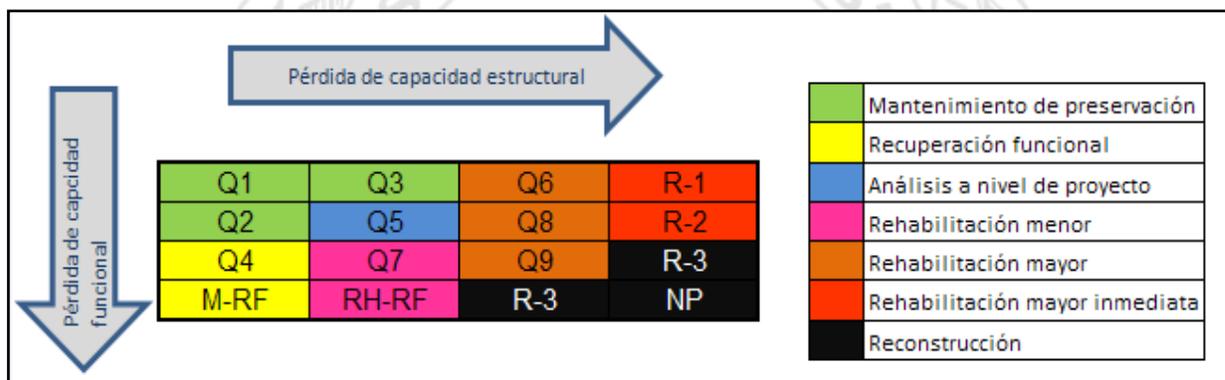


Figura 42. Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la Tabla 10 se presenta la nota de calidad y el tipo de intervención (a nivel de red) requerido para cada tramo homogéneo en la localidad de Aserrí; la distribución porcentual de los mismos se analiza mediante gráficos en la Figura 43 y Figura 44, y son mostrados mediante mapas en la Figura 45 y Figura 46.

Estos tipos de intervención fueron corroborados mediante una gira de campo realizada en los meses de marzo y abril del año 2015, de manera que los indicadores determinados con la metodología expuesta en capítulos anteriores coinciden de manera general con la condición actual de la ruta.

Tabla 10. Tipo de intervención requerido a nivel de red para cada tramo homogéneo.

TH	Nota Q	Tipo Intervención
1	Q2	Mantenimiento de preservación
2	R-3	Reconstrucción
3	M-RF	Recuperación funcional
4	RH-RF	Rehabilitación menor
5	R-3	Reconstrucción
6	M-RF	Recuperación funcional
7	Q9	Rehabilitación mayor
8	R-3	Reconstrucción
9	M-RF	Recuperación funcional
10	R-3	Reconstrucción
11	NP	Reconstrucción
12	Q9	Rehabilitación mayor
13	M-RF	Recuperación funcional
14	Q4	Recuperación funcional
15	Q4	Recuperación funcional
16	M-RF	Recuperación funcional
17	NP	Reconstrucción
18	R-3	Reconstrucción
19	M-RF	Recuperación funcional
20	M-RF	Recuperación funcional
21	R-3	Reconstrucción
22	M-RF	Recuperación funcional
23	RH-RF	Rehabilitación menor
24	M-RF	Recuperación funcional
25	M-RF	Recuperación funcional
26	R-3	Reconstrucción
27	R-3	Reconstrucción
28	NP	Reconstrucción
29	Q7	Rehabilitación menor
30	Q4	Recuperación funcional
31	Q7	Rehabilitación menor
32	Q9	Rehabilitación mayor
33	R-3	Reconstrucción
34	Q7	Rehabilitación menor
35	M-RF	Recuperación funcional
36	Sin IRI	Sin IRI
37	Q4	Recuperación funcional
38	Q4	Recuperación funcional
39	R-3	Reconstrucción
40	Q9	Rehabilitación mayor
41	Q4	Recuperación funcional
42	M-RF	Recuperación funcional
43	M-RF	Recuperación funcional
44	M-RF	Recuperación funcional

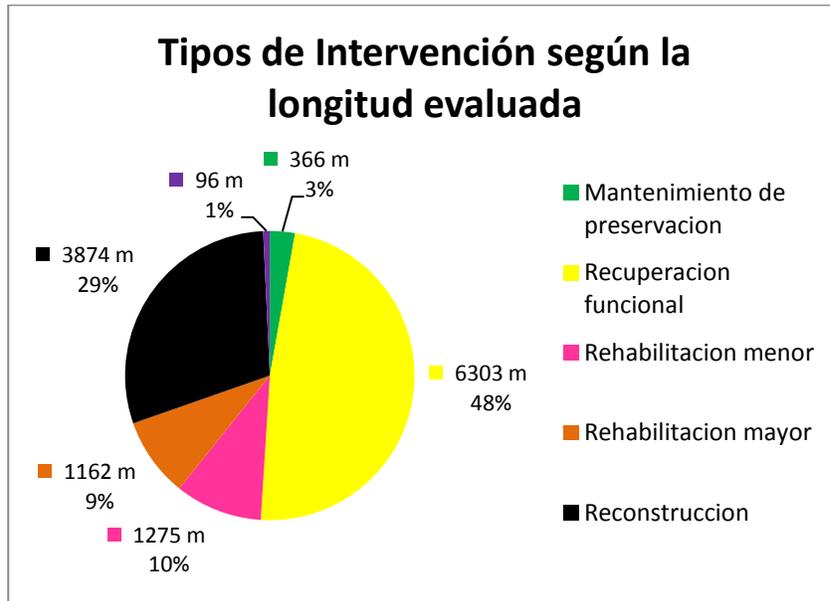


Figura 43. Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de Aserrí, según longitud.

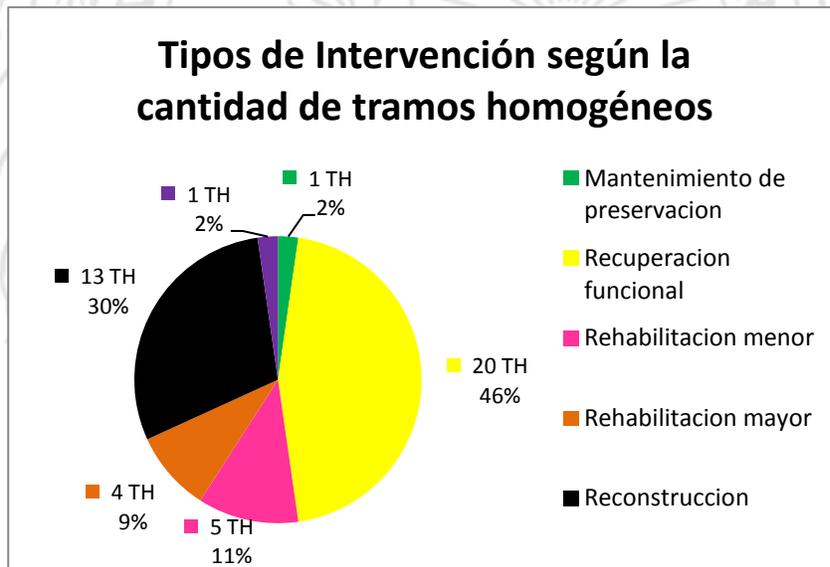


Figura 44. Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de Aserrí, según cantidad de tramos homogéneos.

A partir de los gráficos anteriores, se evidencia que únicamente un tramo de aproximadamente 366 m de longitud se encuentran en buen estado de manera que requieren un Mantenimiento de preservación con el propósito de evitar que su capacidad

estructural y funcional disminuya en consecuencia del actuar de ciertos factores externos sobre su superficie; mientras que la intervención que se requiere en mayor medida es del tipo de Recuperación funcional, para aproximadamente 6,3 km de la red vial evaluada.

La segunda categoría que involucra la mayor cantidad de tramos homogéneos y longitud evaluada (3,8 km) corresponde a la Reconstrucción ya sea de manera parcial o total, pues se ha alcanzado el límite de su vida útil y presenta daños severos.

Por otra parte, un 9% de la red evaluada requiere de una rehabilitación mayor, y otro 10% precisa de obras de rehabilitación menor.

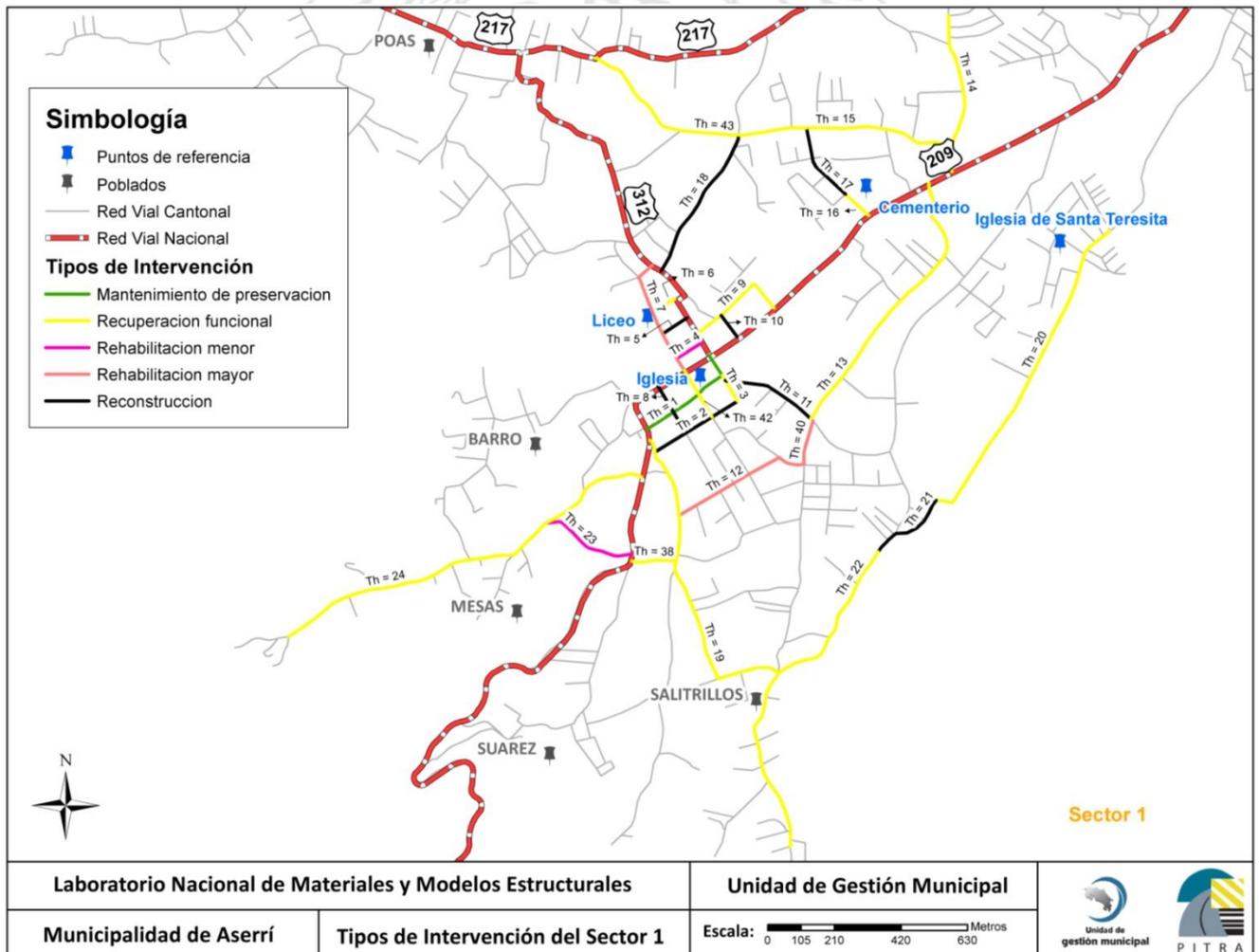


Figura 45. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo, Sector 1.

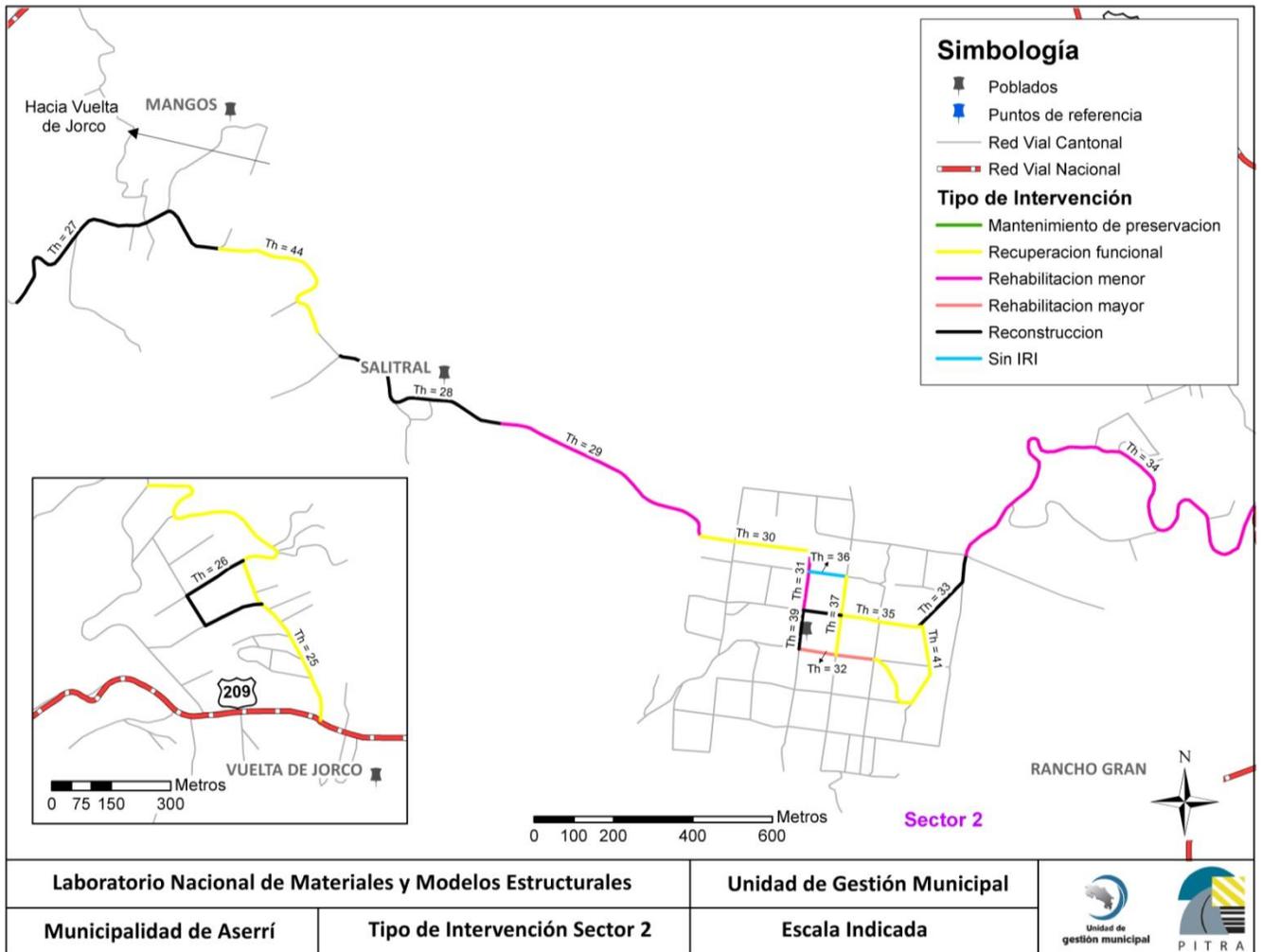


Figura 46. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo, Sector 2.

3.3.1 Observaciones sobre los resultados obtenidos

Como parte de las tareas de validación y retroalimentación de la metodología empleada se realizaron visitas de campo, que contemplan un recorrido completo de la red vial analizada con el objetivo de realizar una verificación de los resultados obtenidos, con lo cual se tienen las siguientes observaciones.

- En el tramo 7 cabe la posibilidad de que exista una base estabilizada como plataforma de soporte, sin embargo, no se encontró evidencia suficiente en sitio para tomar esto en consideración dentro del análisis, además, no se contó con información

de sondeos a cielo abierto que permitieran verificar esto . Por lo tanto para el análisis de este tramo se consideró la presencia de una base granular como plataforma de soporte.

- Los tramos 13 y 15 presentaron una condición en sitio, que difiere de lo determinado con la metodología actual (ver Figura 47 y Figura 48). Según la metodología utilizada estos tramos se ubican dentro de la categoría de recuperación funcional, sin embargo, presentan deterioros más severos, con baches importantes y desprendimiento de la carpeta asfáltica; incluso en ciertas partes se ha perdido parte de la calzada. Es recomendable que al momento de realizar el plan de gestión se consideren opciones como una rehabilitación del camino y dicha información puede ser verificada a nivel de proyecto con estudios más específicos y detallados.



Figura 47. Deterioros tramo 13.



Figura 48. Deterioros tramo 15.

- En el tramo 28 se detectó un hundimiento sobre la calzada (ver **Figura 49**, **Figura 50** y **Figura 50**), el cual se recomienda sea atendido en el corto plazo, para evitar que el problema empeore y signifique un riesgo mayor para los usuarios de la vía. En la **Figura 51** puede observarse la presencia de una alcantarilla, la cual no cuenta con el debido confinamiento y adecuada canalización de las aguas, esta misma condición se encuentra aguas arriba de la alcantarilla, además, debe considerarse que esta es una zona con pendientes altas que propicia altas velocidades del agua de escorrentía.



Figura 49. Hundimiento en el tramo 28 .



Figura 50. Hundimiento tramo 28.



Figura 51. Alcantarilla en tramo 28.

- Es importante mencionar que durante la visita realizada se detectó que parte tramo 27 se encontraba cerrado debido a que estaba siendo reconstruido en su totalidad, por lo tanto esta sección fue eliminada del presente informe, ya que las condiciones al momento de la visita son muy diferentes a las evaluadas. La sección no considerada permite comunicar el poblado de "Los Mangos" con "Barrio el Pilar", además conecta con la ruta nacional 209.



Figura 52. Sección del tramo 27 que estaba siendo intervenida.

3.4 Diseño y costos de los tratamientos

El diseño de las diferentes intervenciones que se analizaron el apartado anterior, se realizan por medio de un retrocálculo de los módulos resilientes de los materiales que conforman la estructura actual del pavimento.

El retrocálculo se realiza por medio de los datos de deflectometría y los espesores de las diferentes capas que fueron determinadas 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 de pavimento, ya que se requiere realizar el diseño para diferentes "estructuras tipo" de la red.

La determinación de los costos generales de cada tipo de intervención se obtiene al investigar el 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; en



caso de que la municipalidad no cuente con registros de costos suficientes para determinar la inversión necesaria, 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 del municipio para el avance del desarrollo del plan quinquenal.*

Es importante recalcar que los costos deben ser generados para un análisis a nivel estratégico en estructuras características de las rutas municipales; por lo tanto, para presupuestar o definir con exactitud el costo específico de 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 cinco años, así como las políticas que se pretenden aplicar para priorizar las rutas o tramos homogéneos que se pretenden intervenir, es decir, los que serán incorporados al plan quinquenal del gobierno local.

Es posible realizar varios escenarios de intervención en los cuales se considere diferentes presupuestos y estrategias, 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 propósito de que la municipalidad seleccione el presupuesto y la estrategia que más se adapta a sus recursos disponibles y metas institucionales.



4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

De acuerdo con el convenio de cooperación entre el LanammeUCR y la Municipalidad de Aserrí, se evaluaron rutas de la red vial cantonal con el propósito de determinar tipos de intervención que permitan mantener o mejorar las condiciones estructurales y funcionales en las cuales se encuentra la estructura de pavimento.

Durante el año 2013 se realizó ensayos de IRI y FWD en la red evaluada de aproximadamente 13 km, y conteos vehiculares que permitieron conocer las condiciones de tránsito de la zona; durante el año 2014 se llevaron a cabo 20 sondeos a cielo abierto con el propósito de conocer la composición de la estructura de pavimento y el tipo de suelo de la zona.

Con base en la información anterior, se definieron 44 tramos homogéneos o secciones de carretera con características similares por medio de la metodología de diferencias acumuladas, lo cual constituye información de gran utilidad para la municipalidad al momento de elaborar los planes de gestión.

En el análisis de la red se encontró la presencia de vías con estructuras de pavimento flexible (carpeta asfáltica y base granular), así como también algunos sectores con estructuras de pavimento semirrígido (carpeta asfáltica y base estabilizada), lo cual condujo a un análisis más detallado al emplear distintas escalas para clasificar la condición de deflectometría según cada tipo de base.

En relación con la condición estructural de la red en estudio, se obtuvo que el 51% (6,7 km) se encuentra en "Buen" estado, por lo que se dice que la estructura de pavimento presenta la capacidad de soportar las cargas transferidas por el tránsito vehicular que circula sobre ella; mientras que 1,3 km fueron catalogados en condición "Regular", y los restantes 5,2 km de la red en estudio presentaron entre condiciones "Deficientes" y "Muy deficientes", distribuidos en longitudes 3,6 km y 1,6 km respectivamente.

De igual manera se analizaron 43 tramos homogéneos de acuerdo con su capacidad funcional (pues como se mencionó a lo largo del informe, en el tramo homogéneo 36 no se realizaron mediciones de IRI), y no se obtuvo ninguno en la categoría de "Buena" condición



(valores de IRI menores a 3,6 m/km), ya que la mayoría, un 62% (8 km) de los tramos, presentó condiciones de regularidad superficial "Muy malas", un 34% (4,5km) se ubicó en la categoría de "Malo", y únicamente un tramo de 366 m fue evaluado en condición "Regular".

Finalmente, la definición de los tipos de intervención requeridos de cada tramo homogéneo se obtuvo con base en las evaluaciones de capacidad funcional y estructural, y se obtuvo que únicamente un tramo homogéneo (366 m) califica para un mantenimiento de preservación, mientras el 29% de la red evaluada correspondiente a 3,8 km requieren ser reconstruidos parcial o totalmente ya que presentan daños severos que impiden brindar buenas condiciones a la estructura de pavimento.

El tipo de intervención predominante es el de Recuperación funcional, pues aproximadamente 6,3 km presentan una condición estructural aceptable, pero malas condiciones que permitan brindar al usuario confort durante su recorrido. De igual manera, se requieren trabajos de rehabilitación mayor sobre un 9% de la red evaluada (aproximadamente 1,1 km de la red en estudio).

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.

Adicionalmente, las recomendaciones de intervención mostradas en este informe son basadas en los ensayos de laboratorio y campo realizados durante los años 2013 y 2014, por lo que se considera pertinente comparar los resultados de este informe con la situación actual de la carretera al momento de definirse las diferentes estrategias de intervención.

Estas recomendaciones se proponen como soluciones óptimas generales a cada tramo homogéneo, es decir, si un tramo homogéneo requiere reconstrucción y se aplica un bacheo o una rehabilitación se solucionará el problema temporalmente, sin embargo, a corto o mediano plazo presentará deficiencias, por lo que no se estarían optimizando los recursos disponibles.



4.2 Recomendaciones

Se recomienda al municipio generar un plan de inversiones a mediano plazo, es decir, un plan quinquenal que defina los tramos homogéneos que se intervendrán cada año, de acuerdo con el presupuesto disponible, los tipos de intervención sugeridos y los costos de ejecución del municipio. Así mismo, se recomienda intervenir tramos que se hayan encontrado en condición de preservación, para prolongar la vida útil de los mismos y maximizar la inversión realizada.

Adicionalmente, es necesario que en el municipio se realice un diagnóstico interno de la organización, de las funciones desempeñadas y de las responsabilidades de los diferentes miembros de la Unidad Técnica de Gestión Municipal, con el objetivo de identificar los aspectos que se requieren fortalecer, así como 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 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.
- Wave; Department of Transportation of New Brunswick. (2005). Appendix Document, Asset Management Business Framework, New Brunswick Department of Transportation.