



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-08-13

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

Preparado por:
Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica
Noviembre, 2013



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

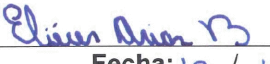
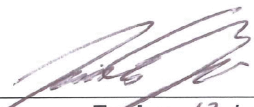
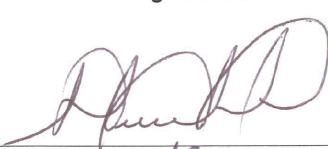
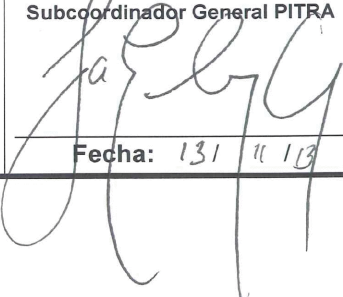
1. Informe LM-PI-GM-08-13		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE GRECIA: DIAGNÓSTICO Y TRAMOS HOMÓGENEOS RVC DE GRECIA.		4. Fecha del Informe: Noviembre, 2013
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <i>En el estudio realizado en las principales rutas de la red vial cantonal de Grecia durante el año 2010-2011, contempla el diagnóstico de la red vial, la identificación y caracterización de tramos homogéneos, esto con el objetivo de buscar y aplicar soluciones a secciones de la carretera que presenten condiciones similares de deterioro.</i> <i>En el presente informe se detalla el análisis de 47 km, en la localidad de Grecia. Los tramos homogéneos generados fueron posteriormente analizados por medio de diferentes parámetros como: deflectometría, IRI (Índice de Regularidad Internacional), conteos vehiculares y sondeos a cielo abierto.</i> <i>El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo indicó que un 92% de los tramos homogéneos (43,1 km) presentan una condición de daños importantes, por otro lado 1,7 km presentan una buena condición estructural. En cuanto a los valores promedio el IRI se determinó que solo dos tramos evaluados presentan un IRI inferior a 3,6 m/km, además un 57% de los tramos (27,1 km) presentan una irregularidad severa (IRI mayor a 6,4 m/km).</i> <i>Uno de los productos más importantes que se incluye en el análisis es la propuesta del tipo de intervención general (mantenimiento, refuerzo estructural o reconstrucción) basados en el estado actual de cada uno de los tramos homogéneos. La información contenida en este informe es una herramienta útil para una eficiente y eficaz gestión de los recursos que dispone el municipio para el mantenimiento y la mejora de la red vial que administra.</i>		
10. Palabras clave Evaluación de carreteras, Gestión, Red vial cantonal, Grecia, Tramos, homogéneos	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 94
13. Preparado por: Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 13 / 11 / 2013	Colaboradores Ing. Catalina Vargas Sobrado Ariana Perera Lizano Jonathan Monge Cubillo	14. Revisado por: Ing. Sharline López Ramírez Unidad de Gestión Municipal
15. Revisado por: Ing. Jaime Allen Monge, MSc Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 13 / 11 / 2013	16. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Lanamme UCR  Fecha: 15 / 11 / 13	17. Aprobado por: Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA Subcoordinador General PITRA  Fecha: 13 / 11 / 13



TABLA DE CONTENIDO

1	ANTECEDENTES	7
1.1	ASESORÍA TÉCNICA.....	8
1.2	CAPACITACIÓN	9
1.3	MUESTREOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO	9
1.4	RECURSOS FINANCIEROS.....	9
1.5	REGLAMENTO AL ARTÍCULO 5 INCISO B) DE LA LEY 8114: REGLAMENTO SOBRE EL MANEJO, NORMALIZACIÓN Y RESPONSABILIDAD PARA LA INVERSIÓN PÚBLICA EN LA RED VIAL CANTONAL.....	9
2	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL	10
2.1	IMPORTANCIA	10
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP).....	11
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL	13
2.4	ESQUEMA METODOLÓGICO	15
3	DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE GRECIA	16
3.1	OBJETIVO.....	16
3.2	ACTIVIDADES.....	16
3.2.1	<i>TRÁNSITO VEHICULAR DIARIO</i>	16
3.2.2	<i>IDENTIFICAR CONDICIÓN FUNCIONAL</i>	24
3.2.3	<i>IDENTIFICAR CONDICIÓN ESTRUCTURAL</i>	30
3.2.4	<i>CARACTERIZAR LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</i>	36
3.2.5	<i>DEFINIR TRAMOS HOMOGÉNEOS</i>	56
3.2.6	<i>NOTAS CALIDAD</i>	68
3.3	TIPOS DE INTERVENCIÓN.....	79
	FIGURA 31. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA NOTA DE CALIDAD	81
3.4	DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	87
3.5	ESCENARIOS DE INVERSIÓN	89
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
4.1	CONCLUSIONES.....	89
4.2	RECOMENDACIONES	91
5	REFERENCIAS	92



ÍNDICE DE CUADROS

TABLA 1. ESPEORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO SEGÚN LOS SONDEOS REALIZADOS.....	39
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO DE LA SUB-RASANTE EN LOS SONDEOS REALIZADOS.....	49
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DEL CBR.....	52
TABLA 4. ÍNDICE DE RESISTENCIA CBR.....	55
TABLA 5. LONGITUD DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN GRECIA.....	57
TABLA 6. NOTAS DE CALIDAD PARA UN TRÁNSITO INFERIOR A LOS 5000 VEHÍCULOS DIARIOS PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.....	69
TABLA 7. NOTAS DE CALIDAD PARA UN TRÁNSITO SUPERIOR A LOS 5000 VEHÍCULOS DIARIOS E INFERIOR A 15000 VEHÍCULOS DIARIOS PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.....	69
TABLA 8. NOTA DE CALIDAD ASIGNADA A CADA DE TRAMO ANALIZADO EN LA LOCALIDAD DE GRECIA.....	73
TABLA 9. TIPO DE INTERVENCIÓN REQUERIDA A NIVEL DE RED PARA CADA TRAMO EVALUADO DE LA RED VIAL CANTONAL DE GRECIA.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS.....	12
FIGURA 2. ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL.....	14
FIGURA 3. ESQUEMA METODOLÓGICO.....	15
FIGURA 4. CABLES Y CONTADORES AUTOMÁTICOS EN SITIO.....	17
FIGURA 5. CONFIGURACIÓN DE LOS CONTADORES.....	18
FIGURA 6. VOLUMEN VEHICULAR DIARIO EN LA LOCALIDAD DE GRECIA.....	19
FIGURA 7. VOLUMEN VEHICULAR DIARIO EN LAS LOCALIDADES DE SAN JUAN Y LOS ÁNGELES.....	20
FIGURA 8. VOLUMEN VEHICULAR DIARIO EN LAS LOCALIDADES DE PORO Y RAICEROS.....	21

Informe LM-PI-GM-08-13	Fecha de emisión: Noviembre 2013	Página 4 de 94
------------------------	----------------------------------	----------------



FIGURA 9. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN LA LOCALIDAD DE GRECIA.	22
FIGURA 10. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN LAS LOCALIDADES DE SAN JUAN Y LOS ÁNGELES.	23
FIGURA 11. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN LAS LOCALIDADES DE PORO Y RAICEROS.	24
FIGURA 12. REPRESENTACIÓN FÍSICA DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL.	25
FIGURA 13. PERFILÓMETRO INERCIAL LÁSER.	26
FIGURA 14. CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN SAN JUAN Y LOS ÁNGELES.	27
FIGURA 15. CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN GRECIA.	28
FIGURA 16. CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS MEDICIONES DE LAS LOCALIDADES DE PORO Y RAICEROS.	29
FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN SEGÚN EL IRI PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN OCTUBRE DE 2010.	30
FIGURA 18. EQUIPO DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO.	31
FIGURA 19. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.	32
FIGURA 20. CONDICIÓN DEL FWD PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN SAN JUAN Y LOS ÁNGELES.	33
FIGURA 21. CONDICIÓN DEL FWD PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN GRECIA.	34
FIGURA 22. CONDICIÓN DEL FWD PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN PORO Y RAICEROS.	35
FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN SEGÚN FWD.	36
FIGURA 24. EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.	36
FIGURA 25. UBICACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS EN SAN JUAN Y LOS ÁNGELES.	37
FIGURA 26. UBICACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS EN GRECIA.	38
FIGURA 27. UBICACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS EN PORO Y RAICEROS.	39
FIGURA 28. CARACTERIZACIÓN DE LA SUB-RASANTE SEGÚN SUCS.	42



FIGURA 29. CARACTERIZACIÓN DE LA SUB-RASANTE SEGÚN SUCS.....	43
FIGURA 30. CARACTERIZACIÓN DE LA SUB-RASANTE SEGÚN SUCS.....	44
FIGURA 31. CARACTERIZACIÓN DE LA SUB-RASANTE SEGÚN AASHTO.....	47
FIGURA 32. CARACTERIZACIÓN DE LA SUB-RASANTE SEGÚN AASHTO.....	48
FIGURA 33. CARACTERIZACIÓN DE LA SUB-RASANTE SEGÚN AASHTO.....	49
FIGURA 34. PRUEBA DE CBR EN SITIO.....	51
FIGURA 35. CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES EN SAN JUAN Y LOS ÁNGELES.....	53
FIGURA 36. CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES EN GRECIA.....	54
FIGURA 37. CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES EN PORO Y RAICEROS.....	55
FIGURA 38. UBICACIÓN DE DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS EN SAN JUAN Y LOS ÁNGELES.....	58
FIGURA 39. UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN GRECIA.....	59
FIGURA 40. UBICACIÓN DE DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN PORO Y RAICEROS.....	60
FIGURA 41. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN SAN JUAN Y LOS ÁNGELES.....	61
FIGURA 42. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN GRECIA.....	62
FIGURA 43. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN PORO Y RAICEROS.....	63
FIGURA 44. PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO.....	64
FIGURA 45. PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD PROMEDIO.....	64
FIGURA 46. IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN SAN JUAN Y LOS ÁNGELES.....	65
FIGURA 47. IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN GRECIA.....	66
FIGURA 48. IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN PORO Y RAICEROS.....	67
FIGURA 49. PORCENTAJE DE METROS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO....	68



FIGURA 50. PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO	68
FIGURA 51. NOTAS DE CALIDAD PARA LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN LAS LOCALIDADES DE SAN JUAN Y LOS ÁNGELES.	76
FIGURA 52. NOTAS DE CALIDAD PARA LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN LA LOCALIDAD DE GRECIA.	77
FIGURA 53. NOTAS DE CALIDAD PARA LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN LA LOCALIDAD DE GRECIA.	78
FIGURA 54. DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS. .	79
FIGURA 55. TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE GRECIA.....	84
FIGURA 56. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO SEGÚN LA CONDICIÓN ACTUAL.	85
FIGURA 57. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO SEGÚN LA CONDICIÓN ACTUAL.	86
FIGURA 58. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO SEGÚN LA CONDICIÓN ACTUAL.	87

1 ANTECEDENTES

Informe LM-PI-GM-08-13	Fecha de emisión: Noviembre 2013	Página 7 de 94
------------------------	----------------------------------	----------------



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

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

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

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

1.1 Asesoría técnica

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

1. Evaluar la operación y uso de la red vial cantonal del casco central del cantón de Grecia.
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

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 Grecia.

1.4 Recursos financieros

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

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

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

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

En el artículo 14 se estipulan las funciones que debe cumplir la UTGVC. Una de las principales funciones con las que debe cumplir es el elaborar y ejecutar los planes y programas de conservación y de desarrollo vial, dichos planes deben considerar criterios técnicos para priorizar los caminos a intervenir.



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

2 PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL

2.1 Importancia

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

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

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

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



2.2 Sistema de administración de pavimentos (SAP)

Parte fundamental de un sistema de administración de infraestructura son los pavimentos, pues es sobre su capa de rodadura donde diversos medios de transporte se desplazan. A los pavimentos se les asocia la mayor parte de los costos de usuario y es uno de los elementos de la infraestructura que más recursos económicos y financieros demandan para su construcción, así como para su mantenimiento o rehabilitación. De manera general, los pavimentos y carreteras deben ofrecer comodidad de viaje a los vehículos, economía en su operación y seguridad ante accidentes, para lo cual la municipalidad debe establecer planes y desarrollar proyectos de conservación y mejoramiento de sus vías de forma preventiva y garantizando un nivel de servicio adecuado de forma continúa.

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

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

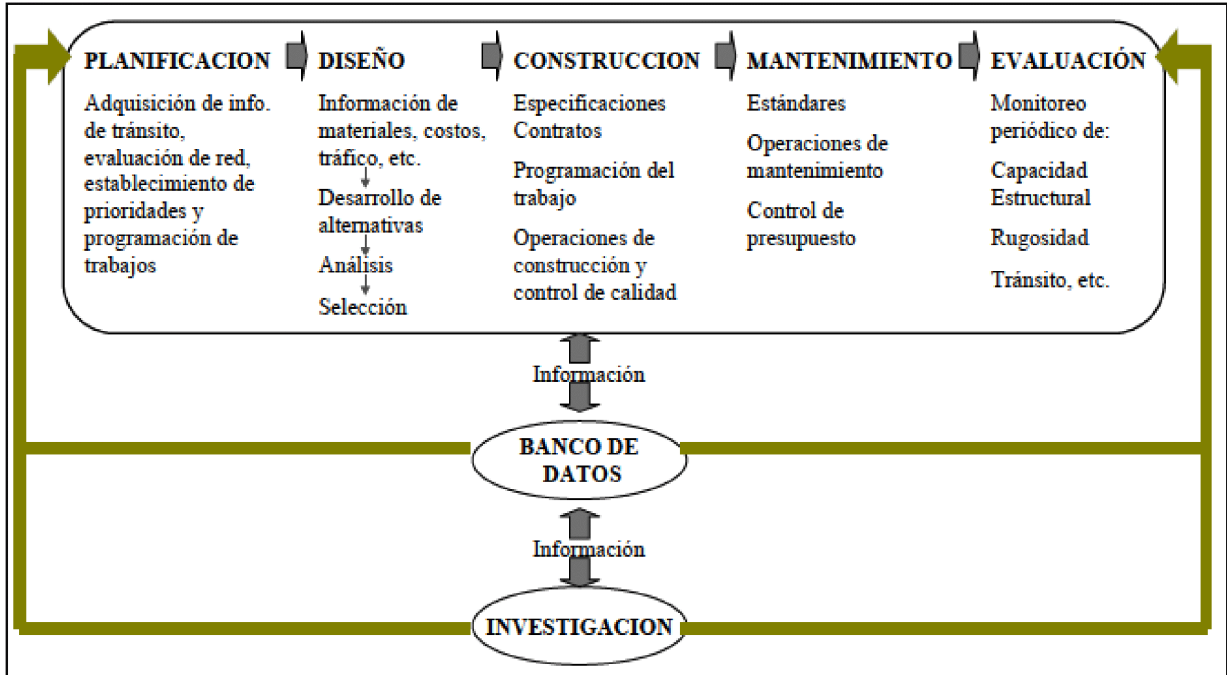


Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos.

Fuente: Haas, 1993.

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

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

- Capacidad de ser fácilmente utilizado, posibilitando agregar y actualizar datos y 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.

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

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

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

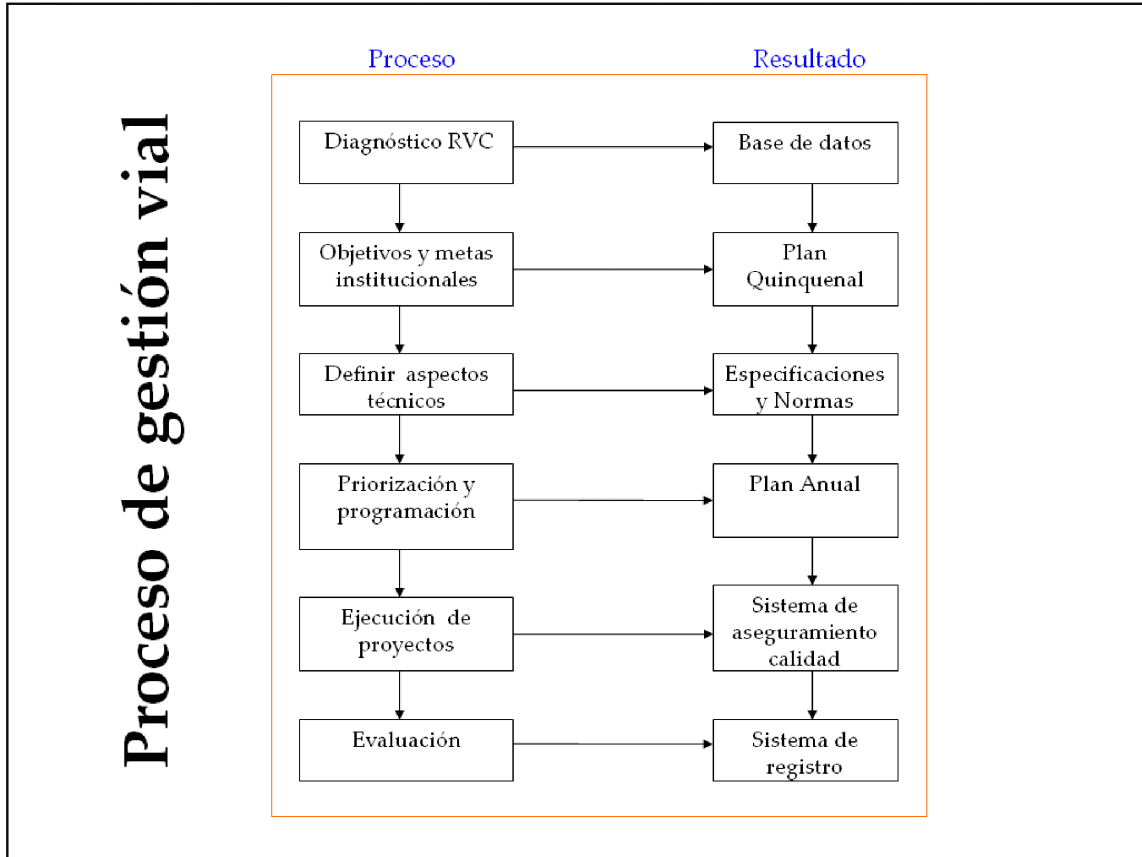


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

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

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

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

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

2.4 Esquema Metodológico

En la figura 3 se presenta el esquema metodológico 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.

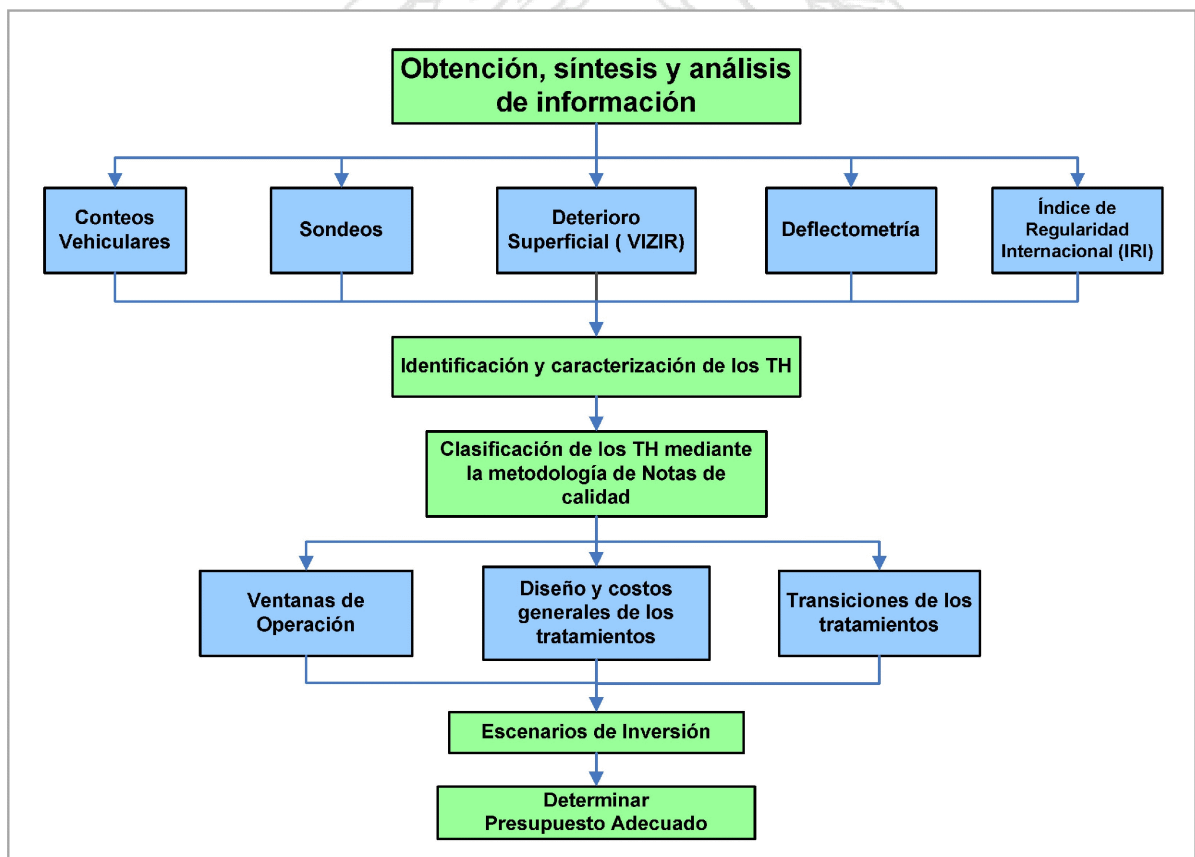


Figura 3. Esquema metodológico.



3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE GRECIA

3.1 Objetivo

Realizar una evaluación de la RVC de Grecia, con el fin de obtener una base de datos con diferentes características técnicas de la infraestructura vial de la red. El diagnóstico generado será un insumo para definir los objetivos y metas institucionales, con el objetivo principal de desarrollar un plan quinquenal de conservación de la RVC de Grecia.

3.2 Actividades

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

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

3.2.1 Tránsito vehicular diario

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

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

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

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

- Realizar los conteos durante períodos de tránsito normal, nunca en vacaciones o feriados.
- Deben realizarse en días laborales (lunes a viernes). Preferiblemente martes, miércoles o jueves para evitar el efecto fin de semana.
- Realizar conteos de 25 horas, para tomar en cuenta ambos períodos de hora pico en los conteos, y facilitar el análisis para cálculos del TPDA (Tránsito promedio diario anual).
- Escoger los sitios de mayor flujo vehicular de la calle o tramo a evaluar.

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

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



Figura 4. Cables y contadores automáticos en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

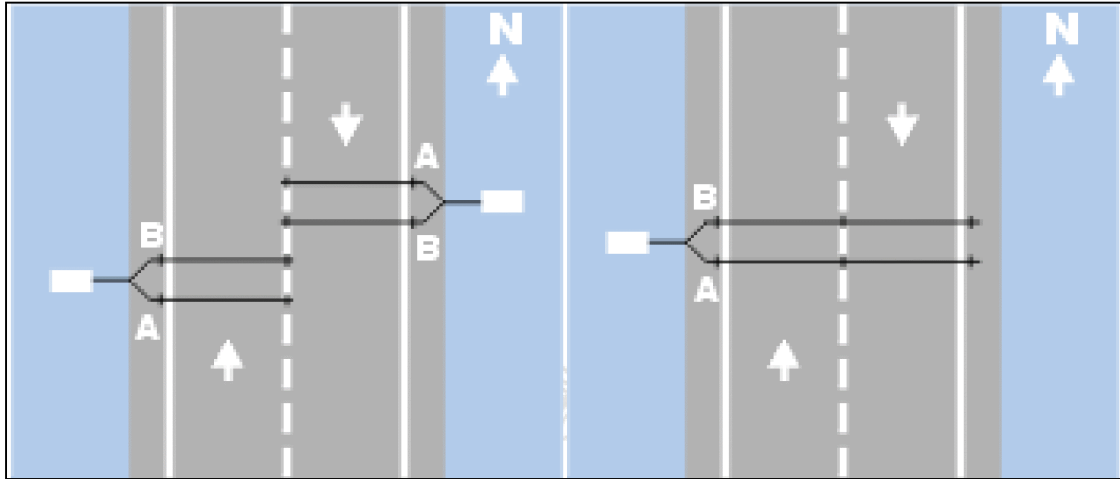


Figura 5. Configuración de los contadores.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

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

En las siguientes figuras se presentan los sitios en donde se realizaron los conteos en la localidad de Grecia, además se muestra el tránsito promedio diario para el día en que se realizó el conteo.

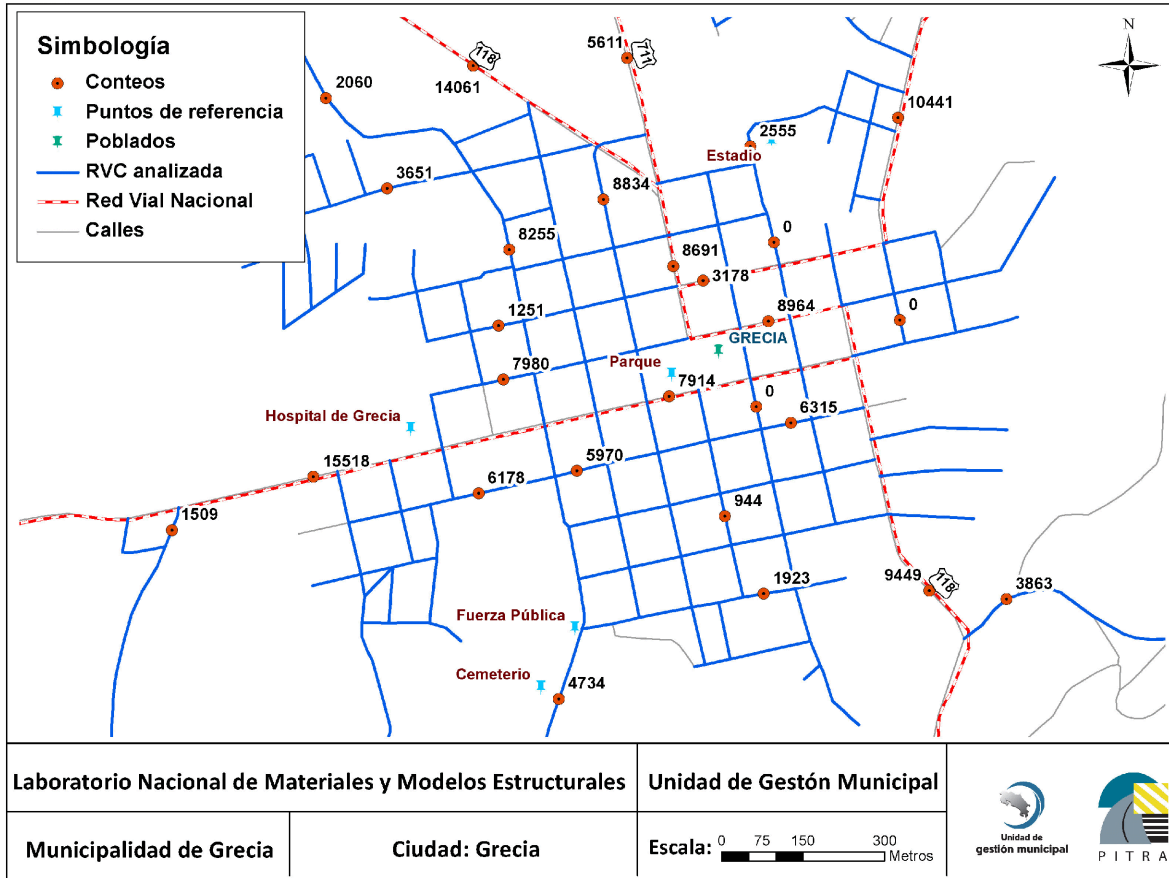


Figura 6. Volumen vehicular diario en la localidad de Grecia.
Fuente: LanammeUCR, 2013 (Información recopilada por UTGV-Grecia).

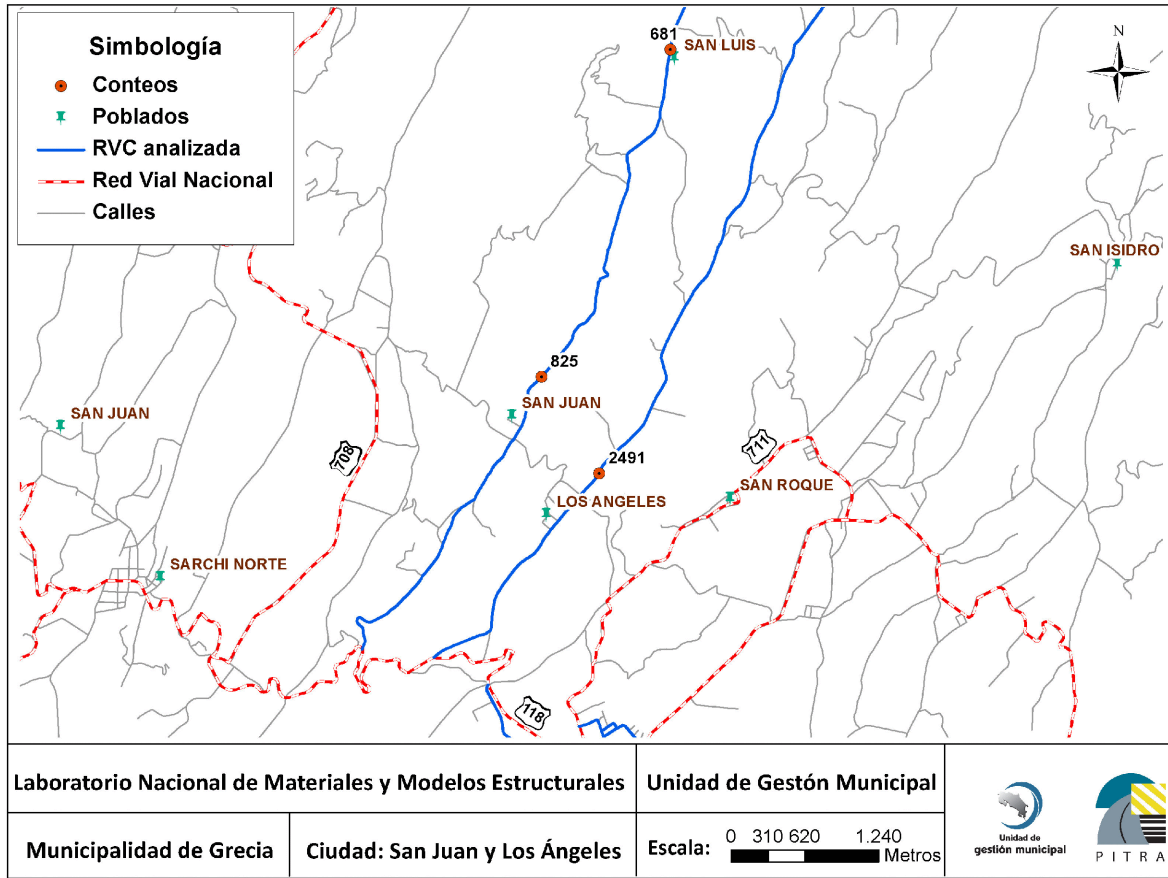


Figura 7. Volumen vehicular diario en las localidades de San Juan y Los Ángeles.
Fuente: LanammeUCR, 2012 (Información recopilada por UTGV-Grecia).

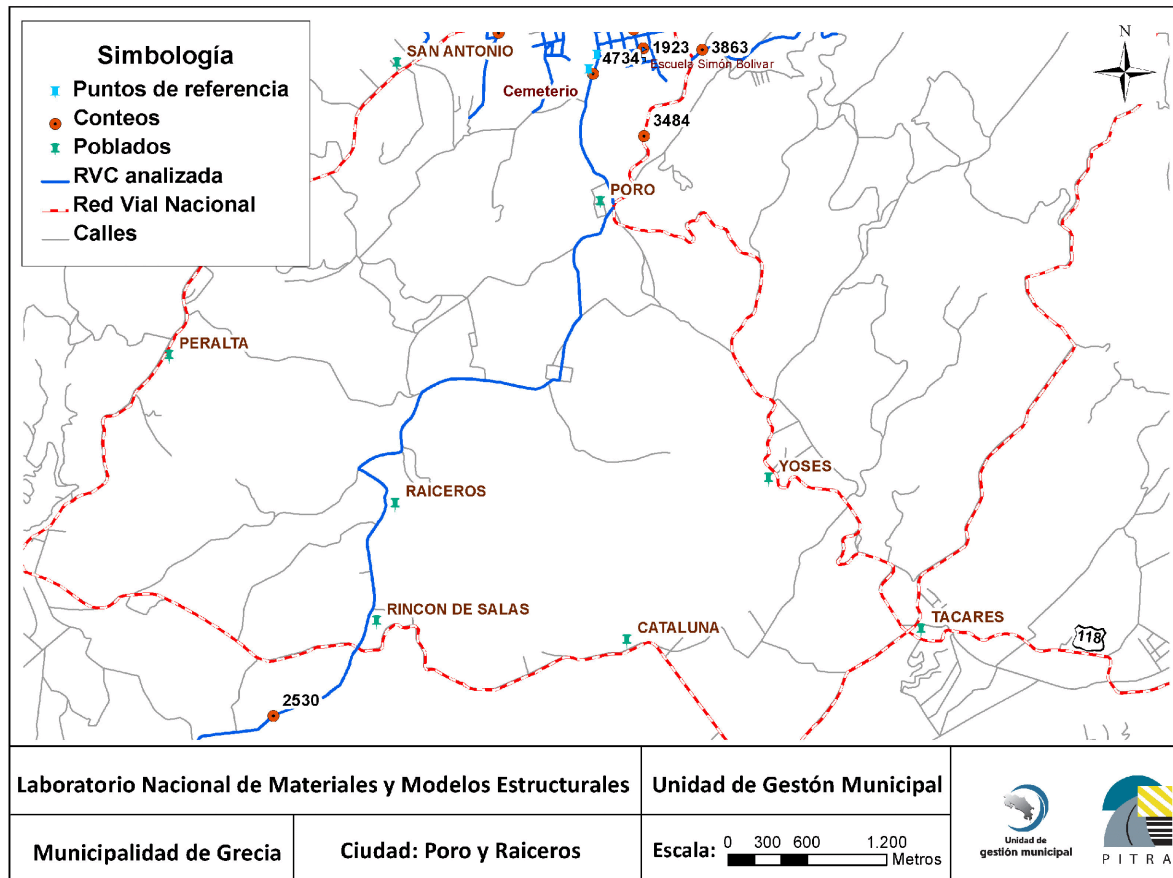


Figura 8. Volumen vehicular diario en las localidades de Poro y Raiceros.

Fuente: LanammeUCR, 2012 (Información recopilada por UTGV-Grecia).

Además de la cantidad de vehículos que circulan diariamente en las vías, es importante conocer la cantidad de vehículos pesados, ya que este tipo de vehículos ejercen un mayor desgaste del pavimento, con respecto a los vehículos livianos. En las siguientes figuras se presenta el porcentaje de vehículos pesados que transitan sobre diferentes vías de la localidad de Grecia, para las vías analizadas se registró un promedio de 6,2% de vehículos pesados.

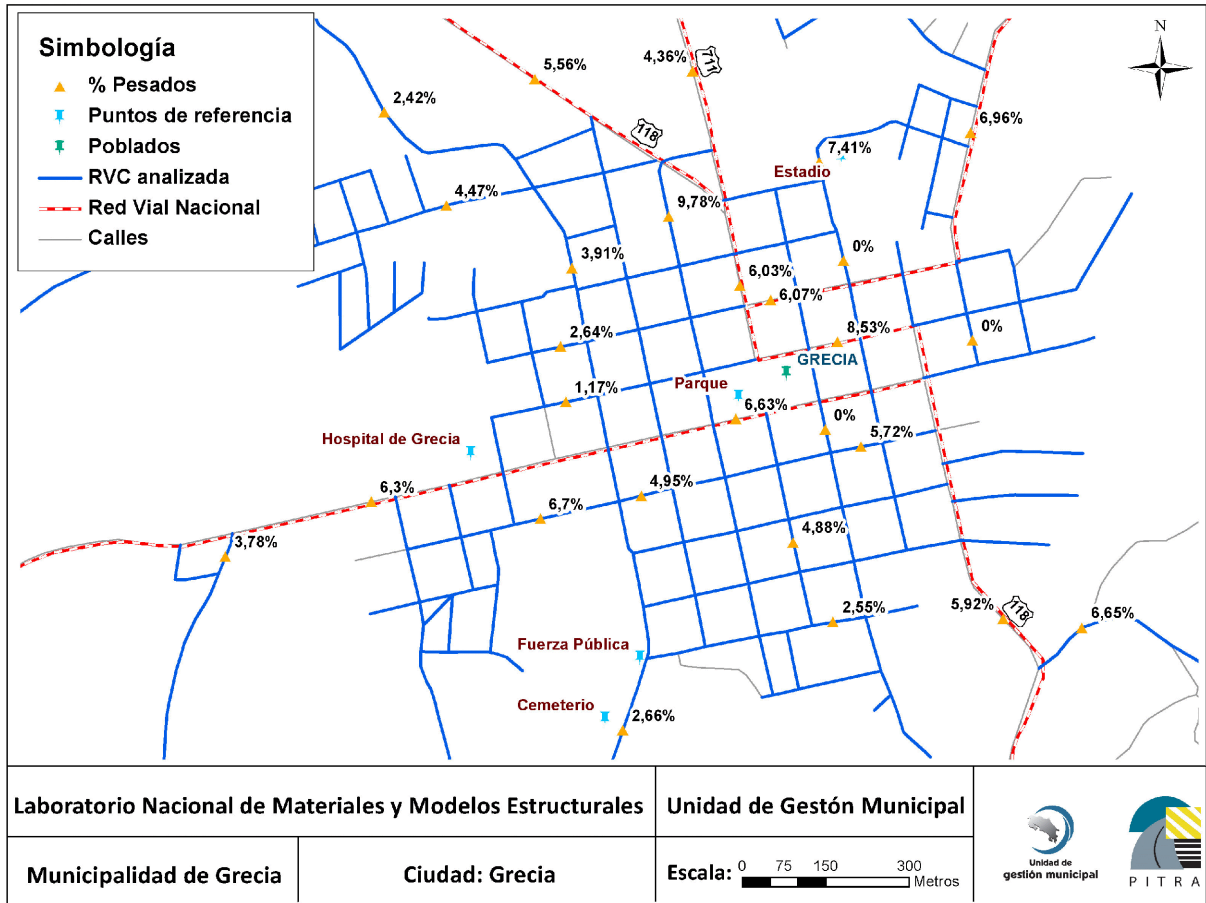


Figura 9. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Grecia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

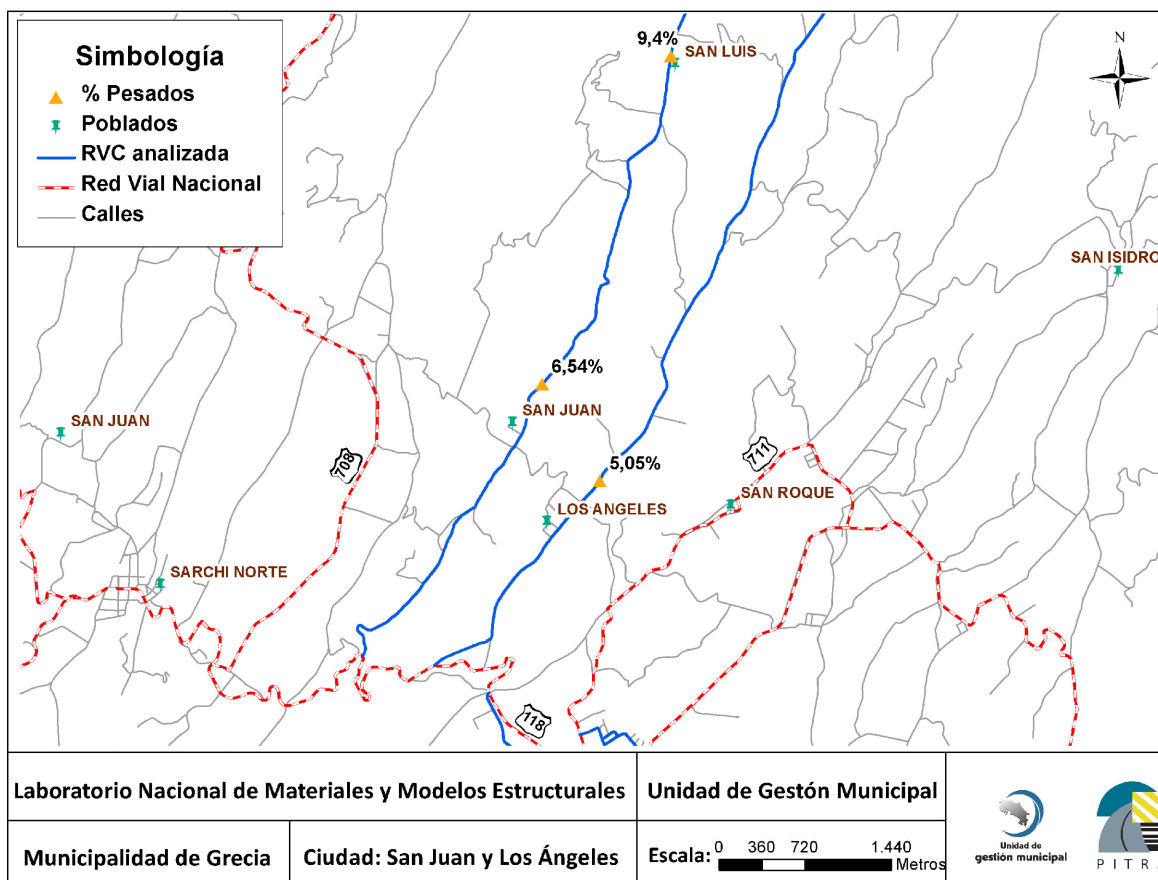


Figura 10. Porcentaje de vehículos pesados en las localidades de San Juan y Los Ángeles.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

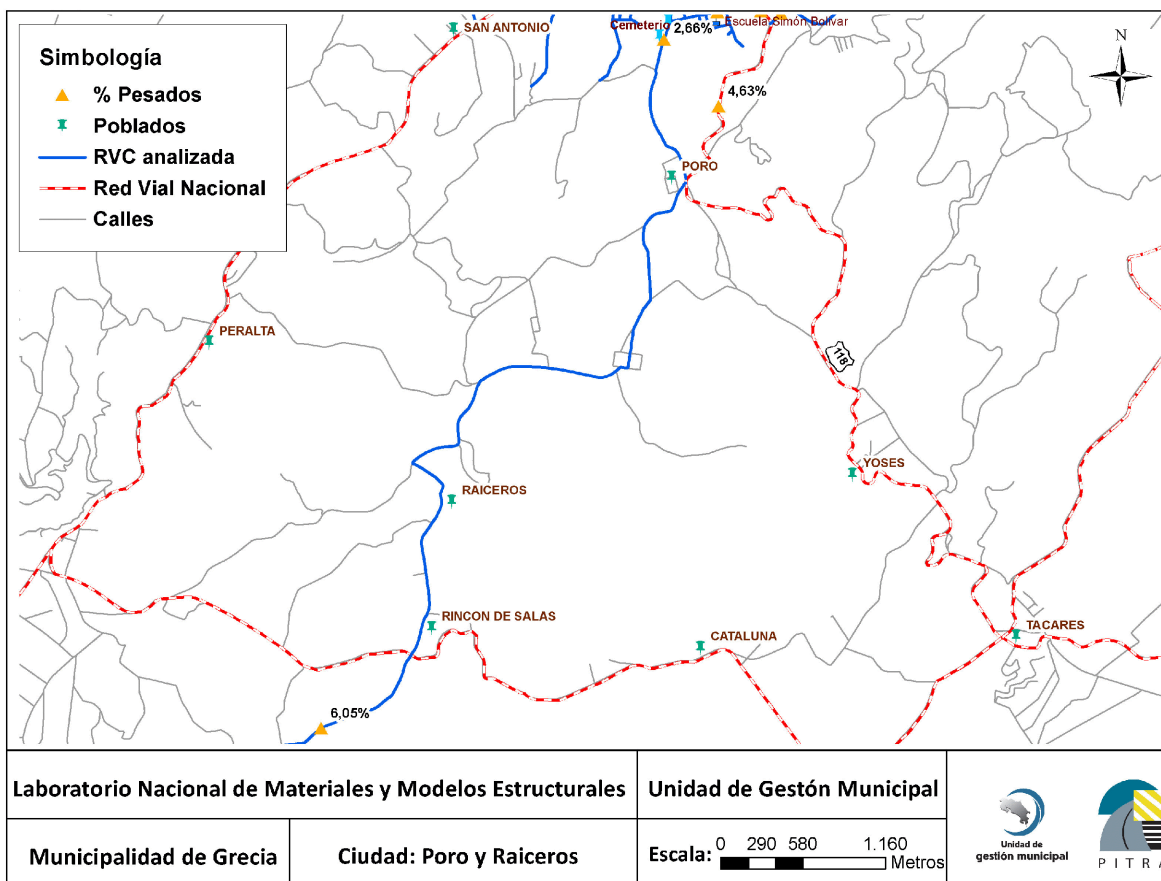


Figura 11. Porcentaje de vehículos pesados en las localidades de Poro y Raiceros.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

3.2.2 Identificar condición funcional

La parte funcional se refiere a la habilidad de la vía para cumplir la función de proporcionar servicio y confort a los usuarios, con respecto a la funcionalidad, se evalúa el índice de Regularidad Internacional (IRI).

3.2.2.1 Índice de Regularidad Internacional (IRI).

El IRI es utilizado en muchos países como parámetro de aceptación de obras así como para la gestión de pavimentos. Este índice está relacionado con los costos de operación de los vehículos y la vida útil de los pavimentos.

El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la regularidad de un camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h. El IRI aumenta conforme la rugosidad aumenta, como se representa en la figura 12.

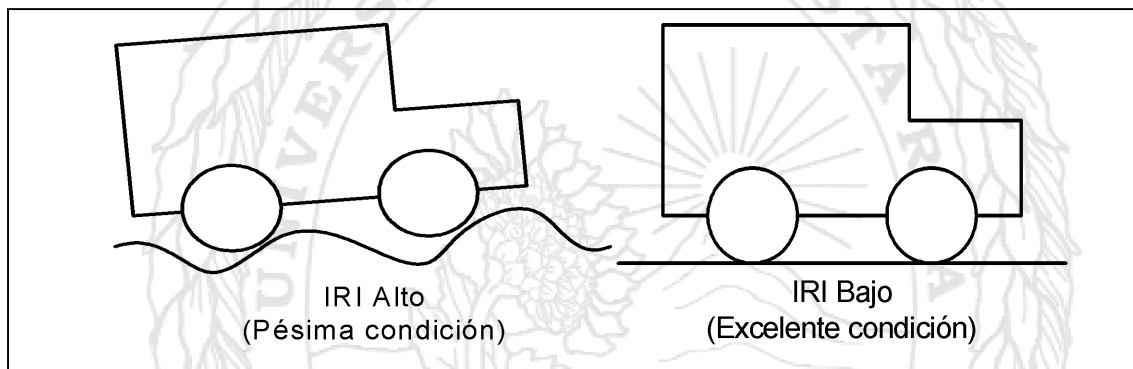


Figura 12. Representación física del Índice de Regularidad Internacional.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

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

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

El equipo Perfilómetro Inercial Láser, propiedad del LanammeUCR, mide la distancia del suelo al vehículo con un medidor láser ubicado en la parte de adelante del vehículo. A

continuación se muestra un esquema del funcionamiento del equipo y una imagen del equipo.



Figura 13. Perfilómetro Inercial Láser.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El IRI se midió sobre la red vial pavimentada a cada 25 metros, esta evaluación se realizó con el Perfilómetro Inercial Láser del LanammeUCR, en el mes de octubre del 2010 abarcando todas las rutas contempladas en el convenio, sobre una longitud aproximada de 46 km, en la siguiente figura se muestran estas mediciones para la localidad de Grecia. Con el fin de clasificar la RVC en función de IRI se utiliza la siguiente simbología: “Bueno”, IRI menor a 3,6 m/km; “Regular”, IRI entre 3,6 m/km y 6,4 m/km; “Malo”, IRI entre 6,4 m/km y 10 m/km; “Muy malo”, IRI mayor a 10 m/km.

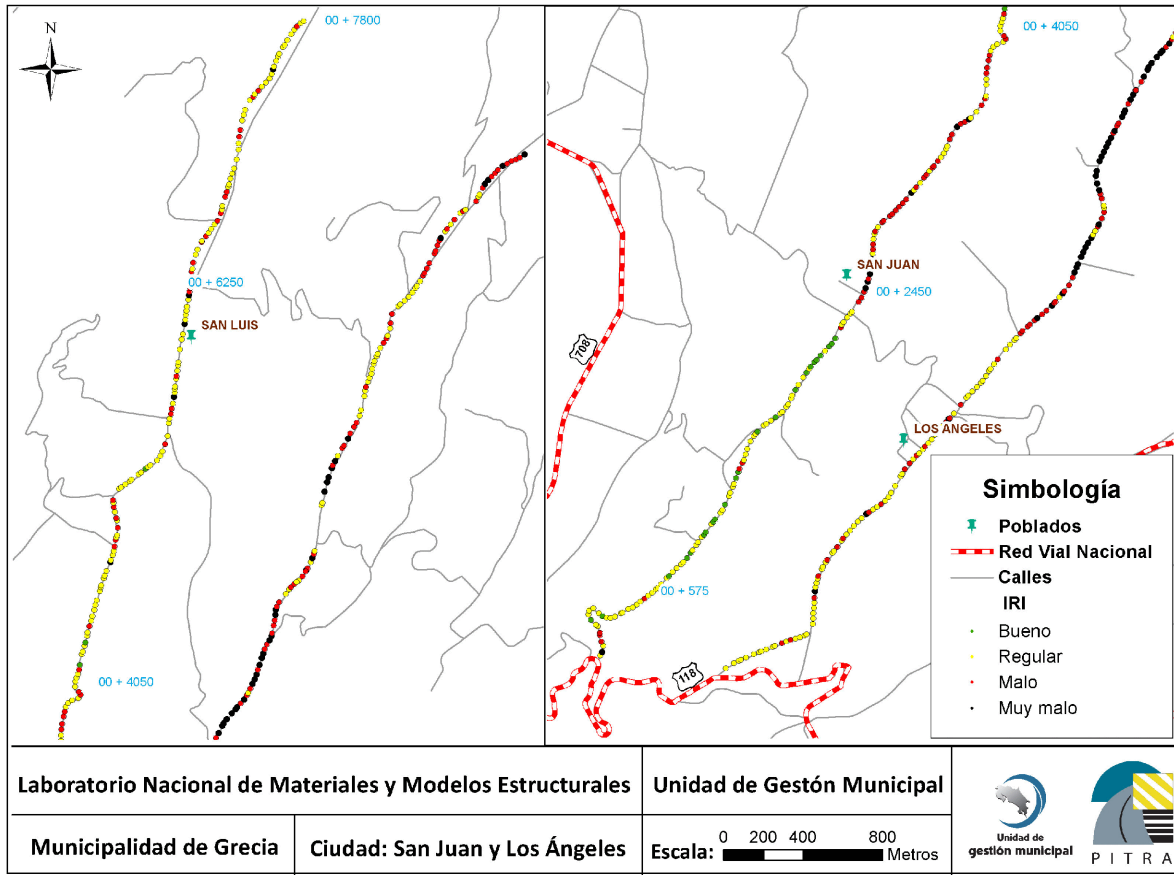


Figura 14. Condición del IRI para las mediciones realizadas en San Juan y Los Ángeles.
Fuente: LanammeUCR, 2012.

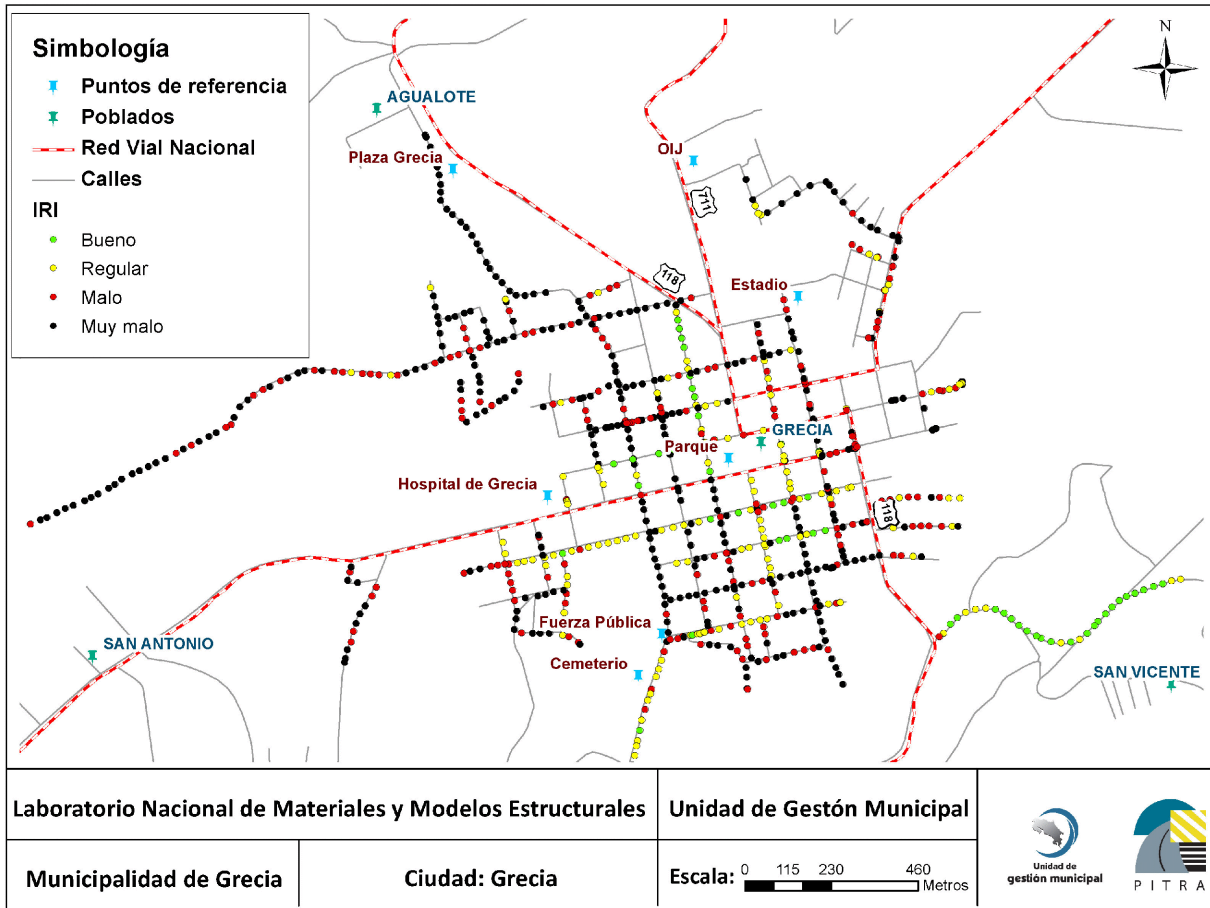


Figura 15. Condición del IRI para las mediciones realizadas en Grecia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

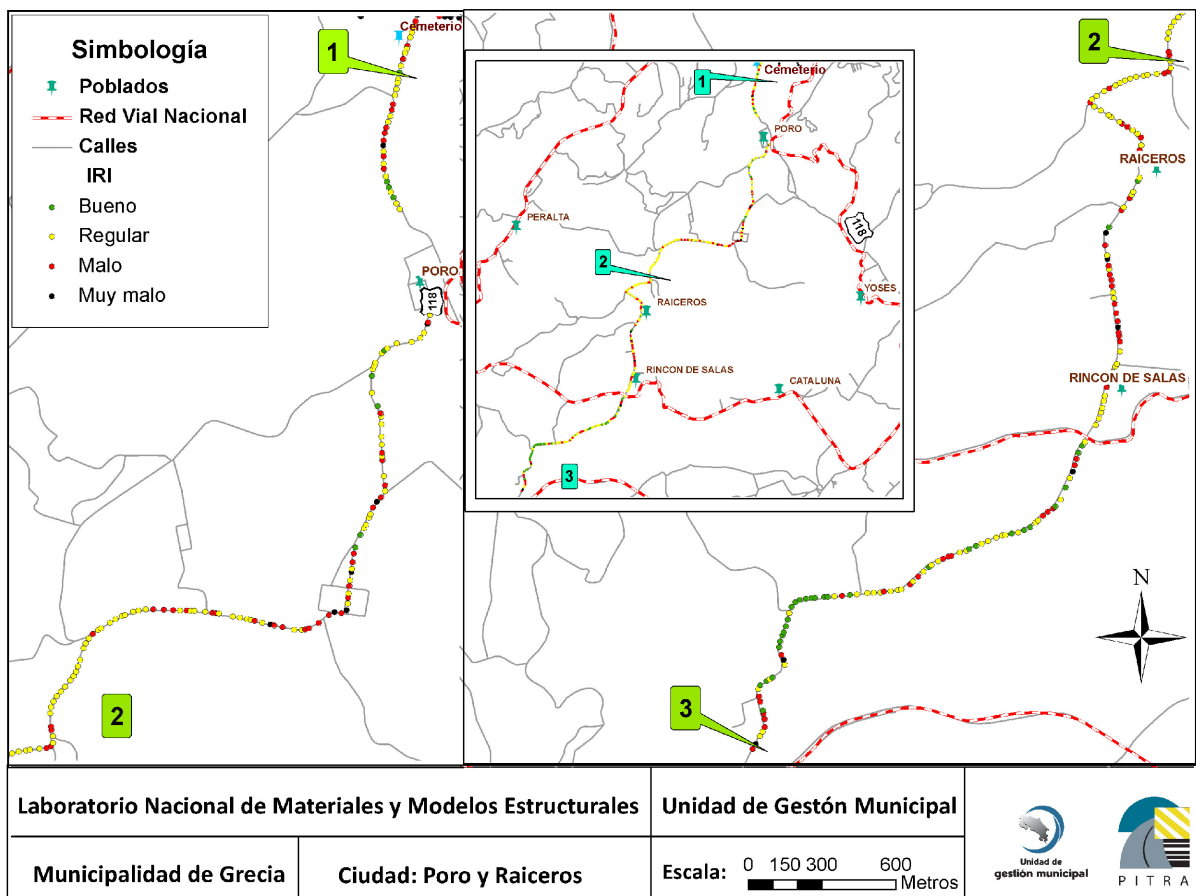


Figura 16. Condición del IRI para las mediciones de las localidades de Poro y Raiceros.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la figura 17 se observan los porcentajes asociados a cada condición, según las mediciones de IRI en la localidad de Grecia. En las mediciones realizadas más del 50% presenta valores de IRI superior a 6,4 m/km, lo cual indica que es una superficie de rueda con bajo nivel de confort y con altos gastos de operación para los vehículos que la transitan.

Por otro lado, únicamente un 8% de las mediciones realizadas se pueden clasificar con condiciones aceptables de regularidad superficial (menores a 3,6 m/km) y un 38% se encuentra en una condición que se puede clasificar como regular.

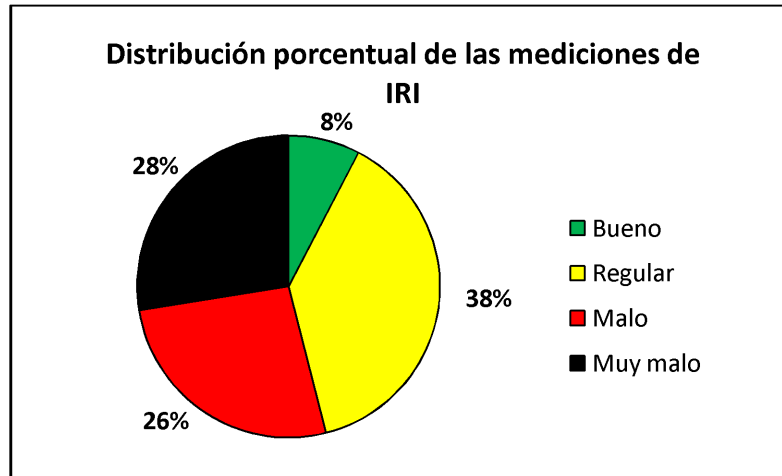


Figura 17. Distribución porcentual de la condición según el IRI para las mediciones realizadas en Octubre de 2010.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

3.2.3 Identificar condición estructural

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

Las mediciones se realizaron con el equipo Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés), tomando mediciones cada 50 metros durante el mes de Marzo del 2011. El procedimiento consiste en dejar caer una carga de impacto estándar sobre el pavimento y medir las deflexiones en nueve puntos, con diferentes distancias respecto al punto donde se aplicó la carga. A continuación se muestran dos figuras con el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.

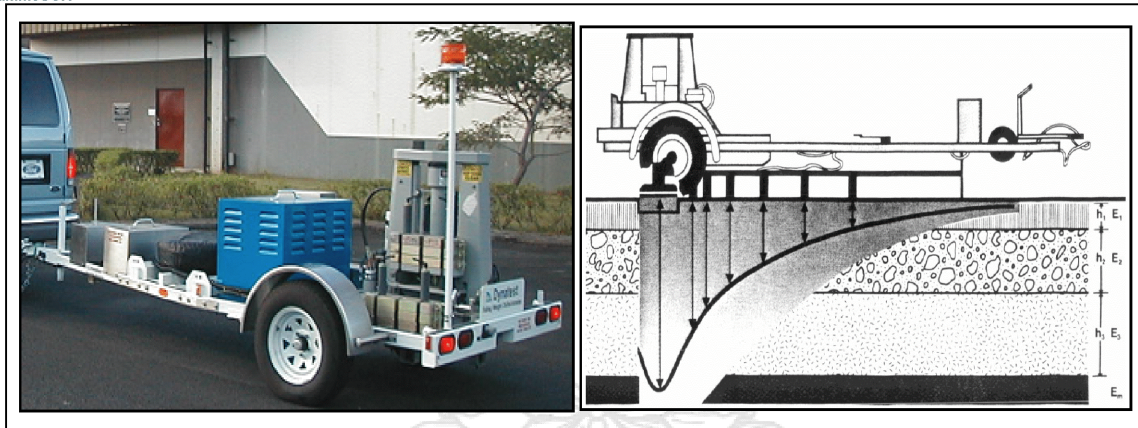


Figura 18. Equipo de deflectometría de impacto.
Fuente: LanammeUCR, 2008.

Al igual que para la clasificación del estado de una vía según los valores de IRI, la clasificación utilizada para categorizar los resultados obtenidos de deflectometría son tomados a partir de un estudio realizado por LanammeUCR, en el cual se determinaron rangos para las diferentes deflexiones asociadas a distintas categorías de TPD y dependientes del tipo de base (granular o estabilizada con cemento) que compone la estructura del pavimento. En la figura 19 se presenta la clasificación de deflectometría para una estructura de pavimento con base granular.

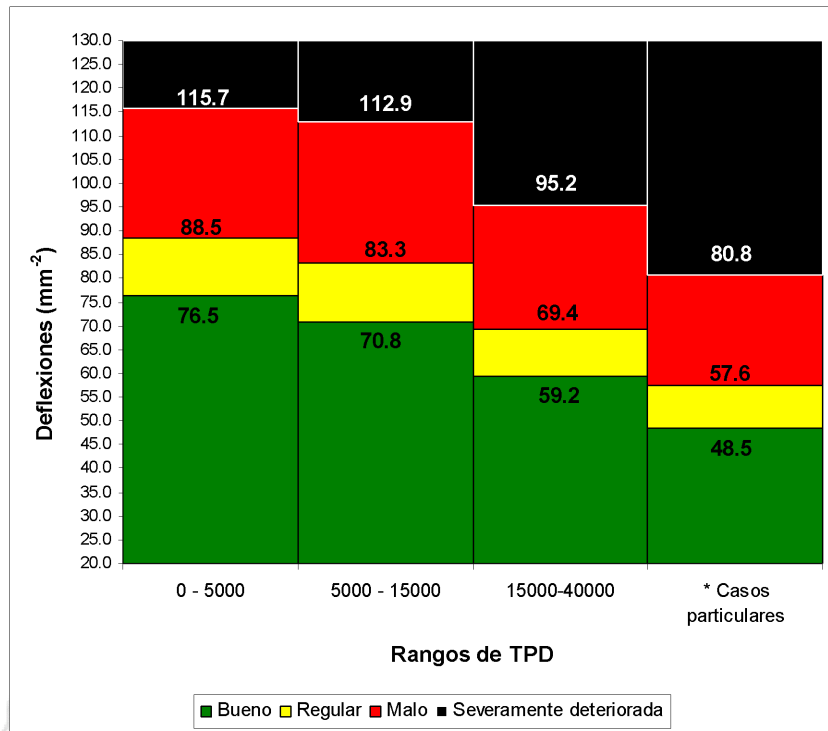


Figura 19. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base granular.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

En la figura 20, figura 21 y figura 22 es posible observar que en términos generales las mediciones de la capacidad estructural en Grecia se encuentran dentro del rango de “muy deficiente”. El detalle de la distribución porcentual de las mediciones se puede observar en la Figura 23, donde poco más de la mitad de las mediciones realizadas indican un nivel de deterioro importante, por otra parte solo un 12% de las mediciones realizadas corresponden una condición estructural buena.

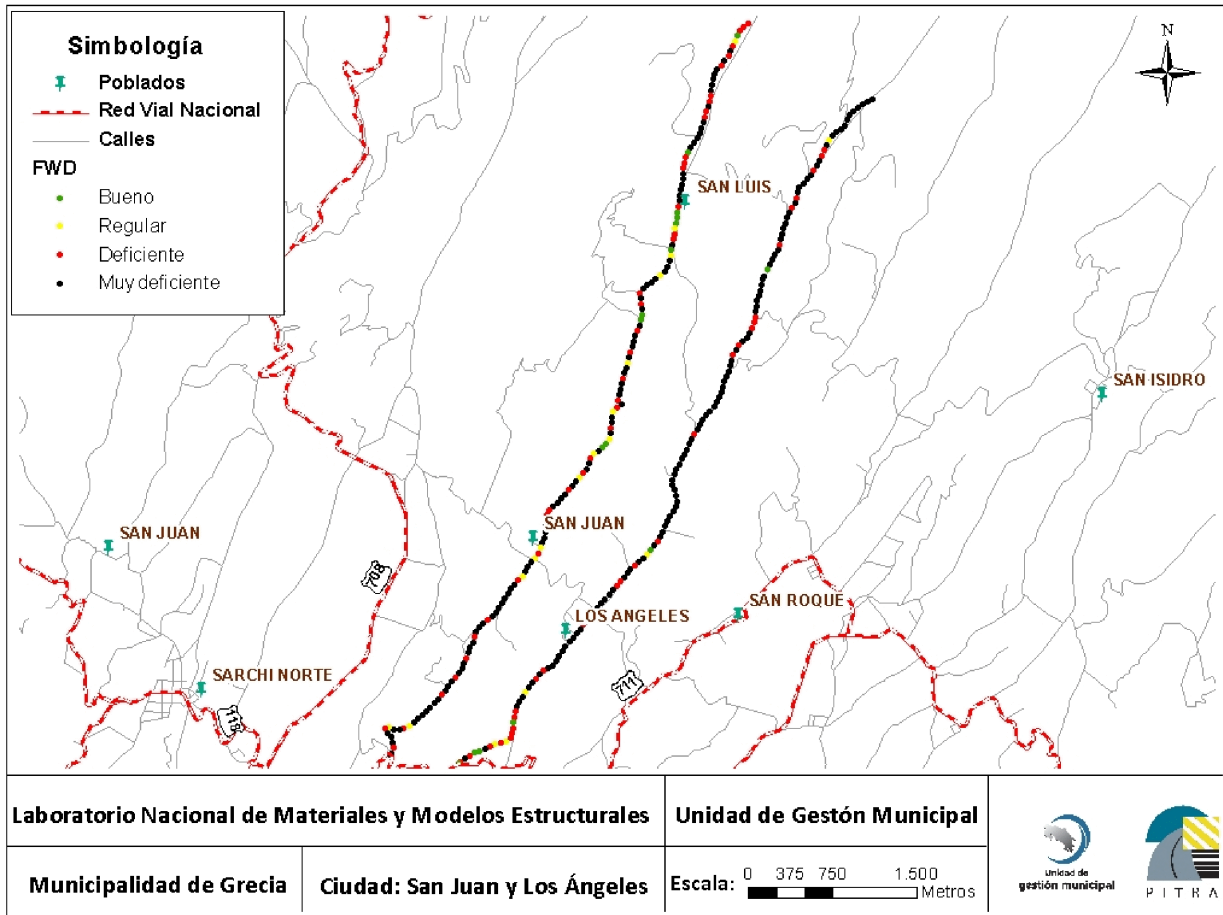


Figura 20. Condición del FWD para las mediciones realizadas en San Juan y Los Ángeles.
Fuente: LanammeUCR, 2012.

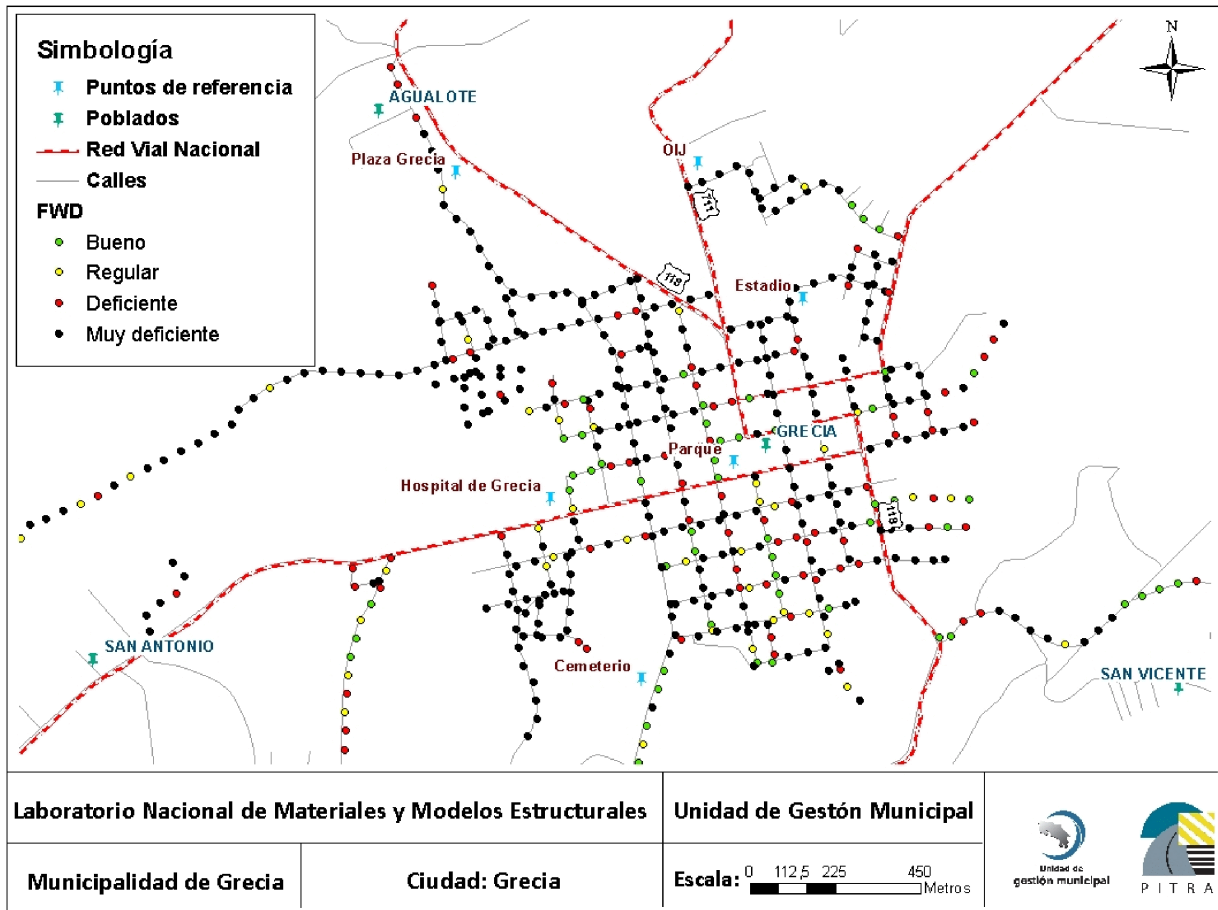


Figura 21. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Grecia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

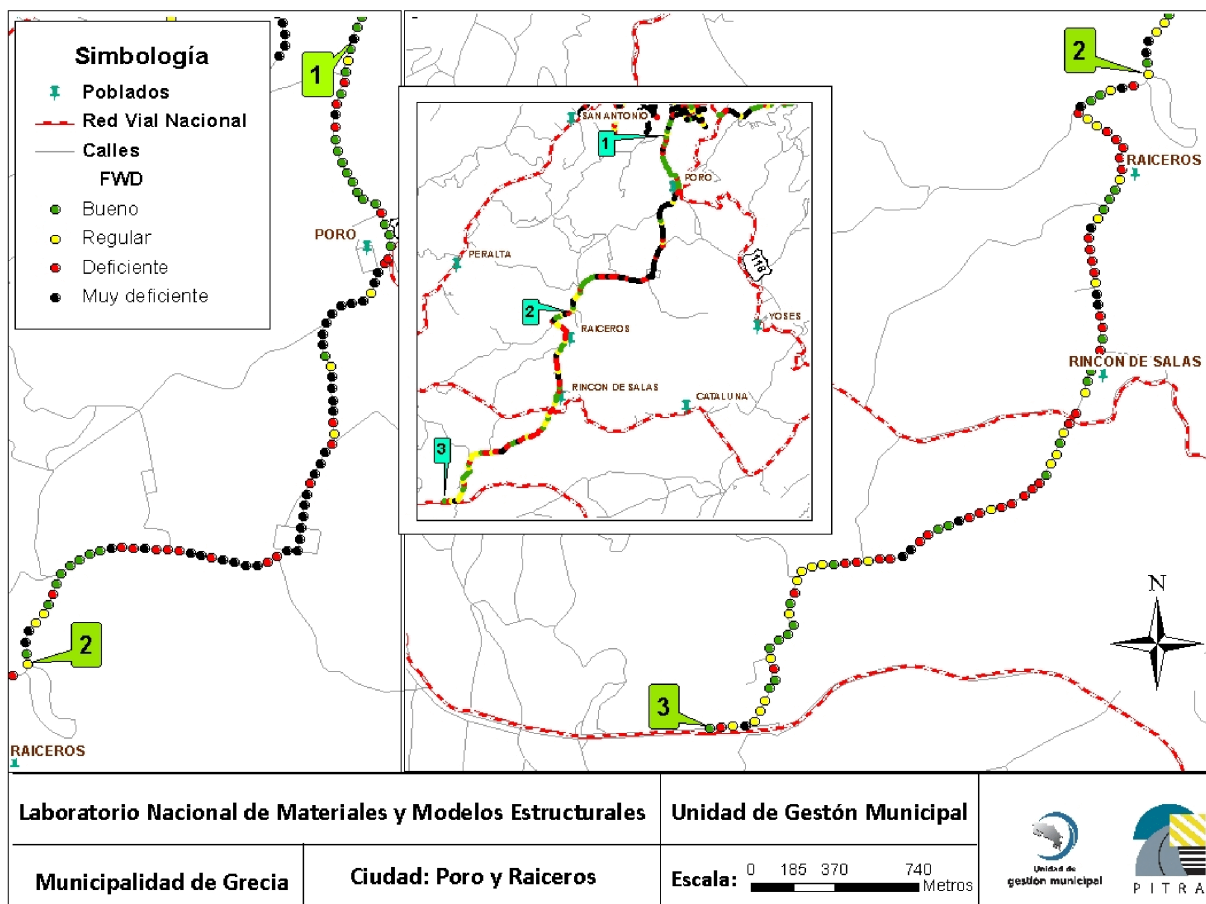


Figura 22. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Poro y Raiceros.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

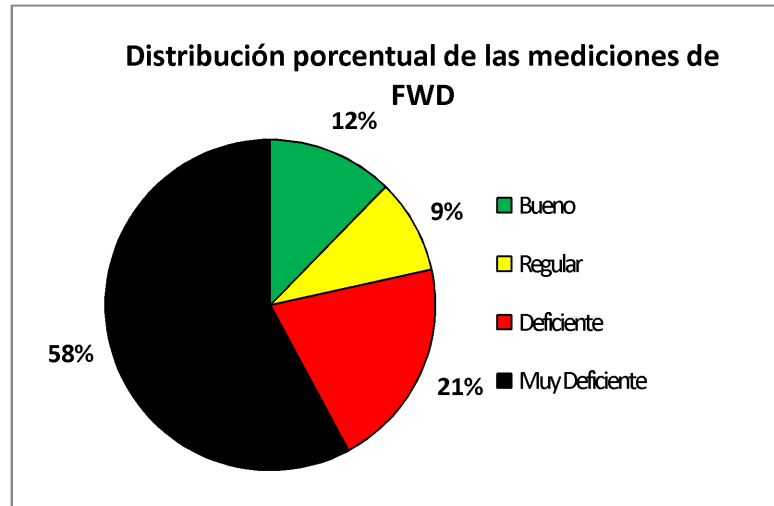


Figura 23. Distribución porcentual de la condición según FWD.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

3.2.4 Caracterizar la estructura del pavimento

En esta sección se determina la estructura y el tipo materiales que componen el pavimento. En la figura 24 se muestra un ejemplo de dicha estructura, compuesta por la capa de rodadura, bases estabilizada, base granular y capa de subbase.

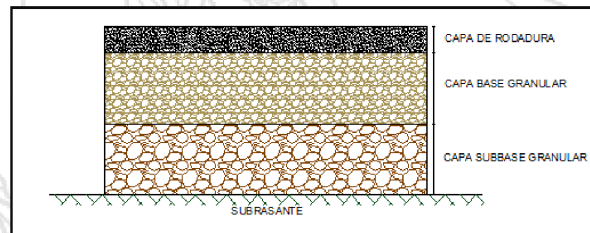


Figura 24. Ejemplo de estructura de pavimento.

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

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

3.2.4.1 Estructura del pavimento

Se realizan excavaciones para determinar los espesores de las capas del pavimento: superficie de rodadura, base granular o estabilizada, sub-base y sub-rasante.

Las excavaciones se realizan en puntos estratégicos tomando en cuenta la clasificación de las vías del cantón, la deflectometría y tramos homogéneos; se realizaron 28 sondeos cuya ubicación se puede observar en las figuras 25, 26 y 27.

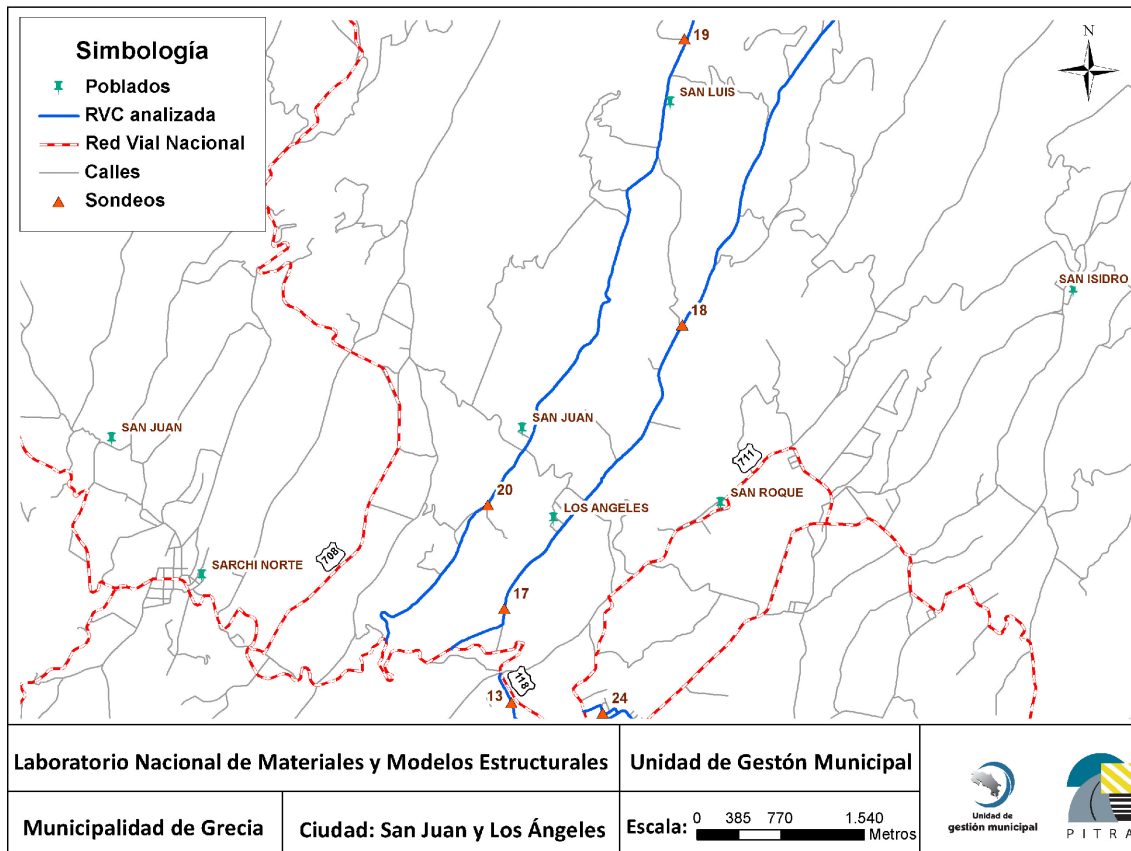


Figura 25. Ubicación de los sondeos realizados en San Juan y Los Ángeles.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

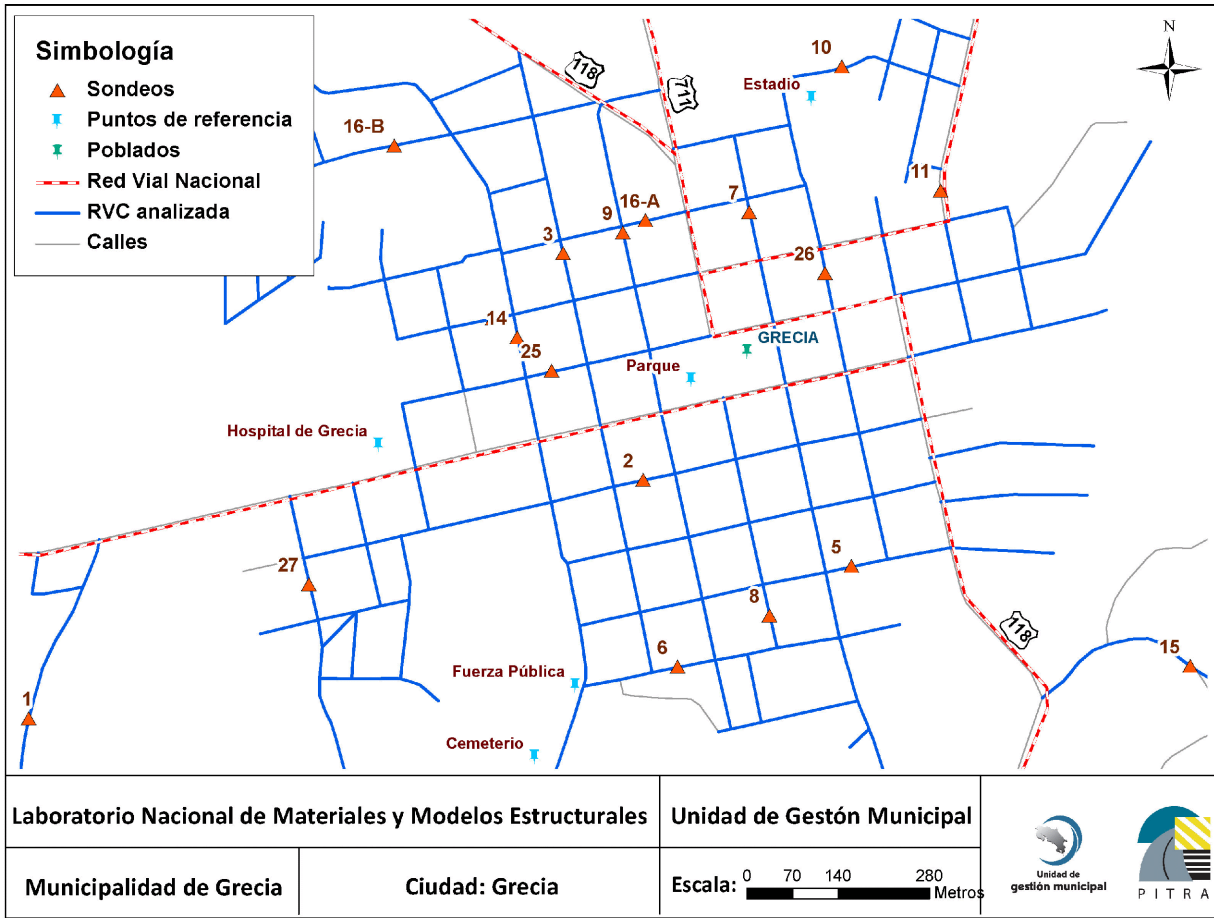


Figura 26. Ubicación de los sondeos realizados en Grecia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

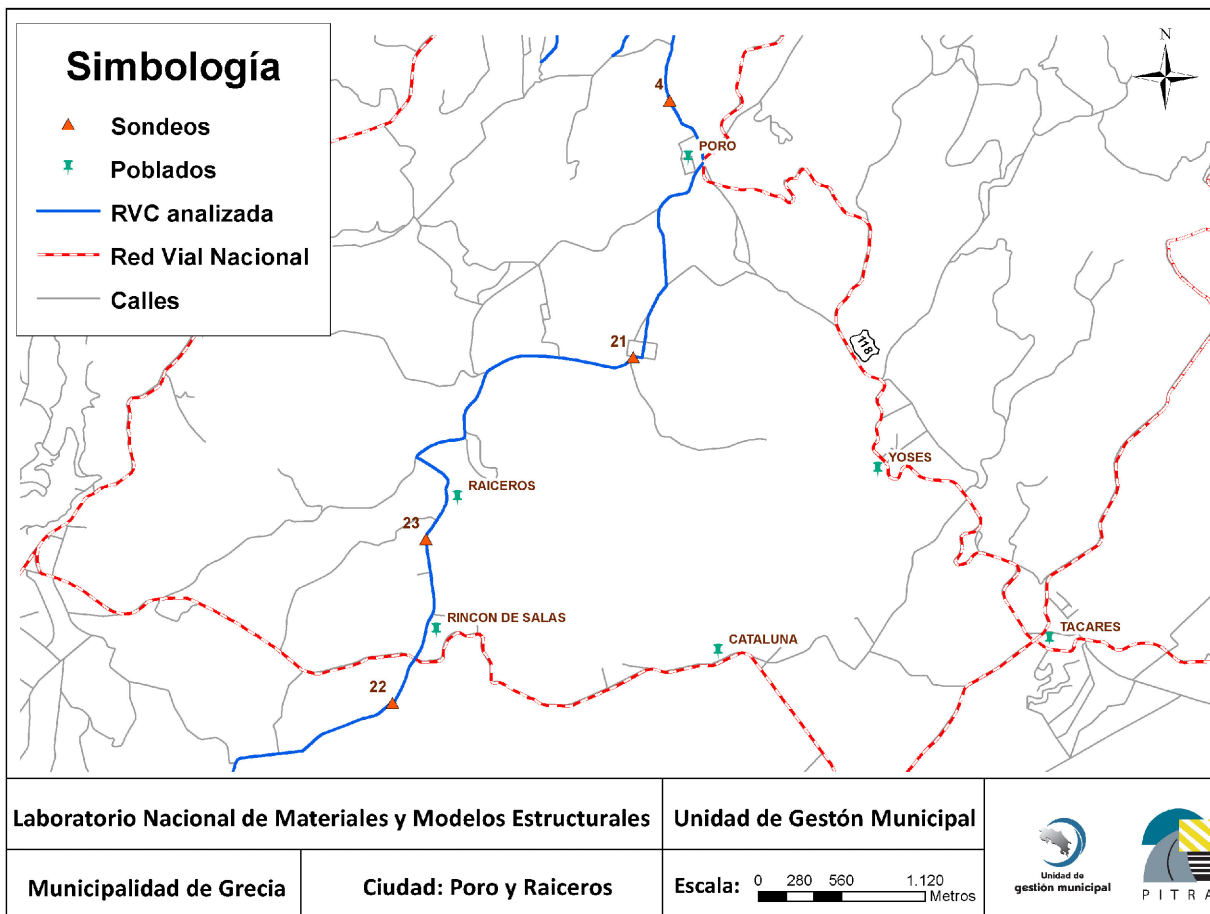


Figura 27. Ubicación de los sondeos realizados en Poro y Raiceros.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

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

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

Sondeo	CA (cm)	BE (cm)	BG (cm)	SB (cm)
1	4	0	10	15
2	16	0	10	15
3	2,8	0	25	0
4	9	10	0	0
5	3	4	10	20
6	2,1	0	7	0



Sondeo	CA (cm)	BE (cm)	BG (cm)	SB (cm)
7	7	0	26	0
8	5	0	0	0
9	11	0	8	0
10	4	0	10	17
11	11,5	0	15	32
12	4,5	0	12	0
13	9	0	6	0
14	8,5	0	4	7
15	9	0	12	14
16 A	2	0	9	0
16 B	5	0	10	0
17	6	0	11	21
18	2	12,1	0	5
19	6,5	15	0	0
20	12	10	0	17
21	2,5	0	20	8
22	5,5	0	10	12
23	7	0	10	14
24	4	6	0	18
25	13	0	5,5	0
26	5	0	10,5	9,4
27	5,5	5,5	0	19

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

CA: Capa asfáltica, tratamiento superficial o carpeta asfáltica.

BE: Base estabilizada.

BG: Base granular.

SB: Sub-base.

3.2.4.2 Caracterización de la sub-rasante

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



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

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Gravedad Específica

Clasificación SUCS

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

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

La distribución geográfica del tipo del suelo en la localidad de Grecia se presenta en las figuras 28, 29 y 30. Es posible apreciar que los suelos analizados están compuestos en su mayoría por material fino MH.

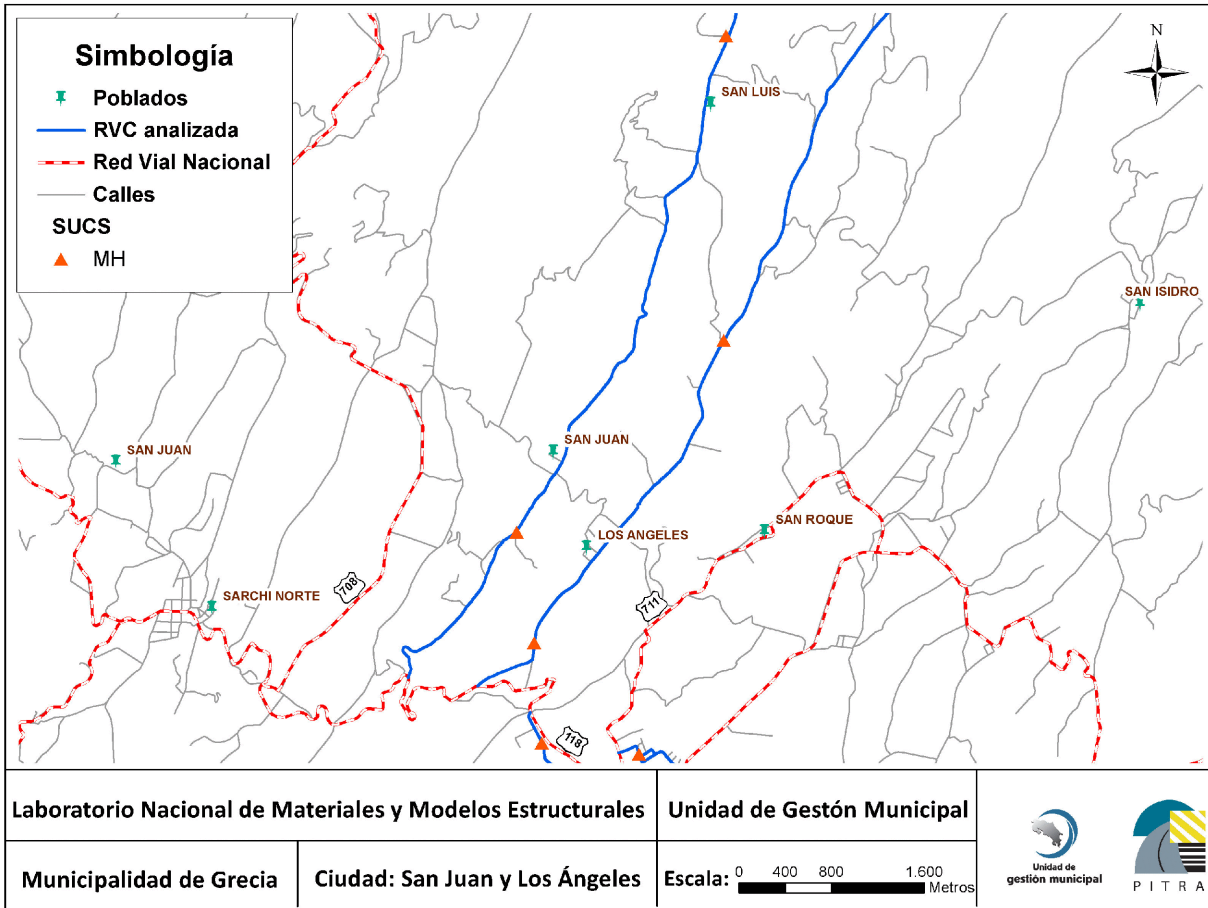


Figura 28. Caracterización de la sub-rasante según SUCS.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

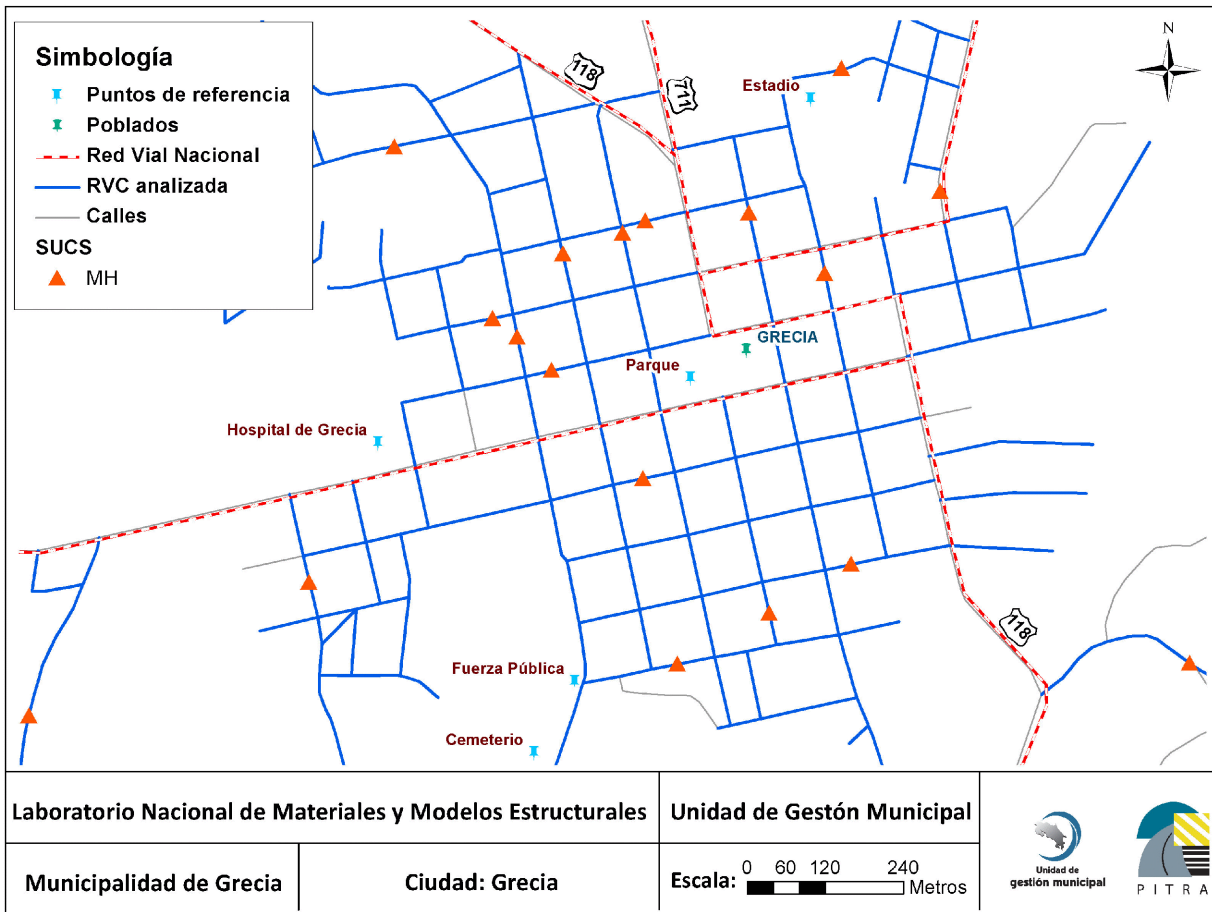


Figura 29. Caracterización de la sub-rasante según SUCS.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

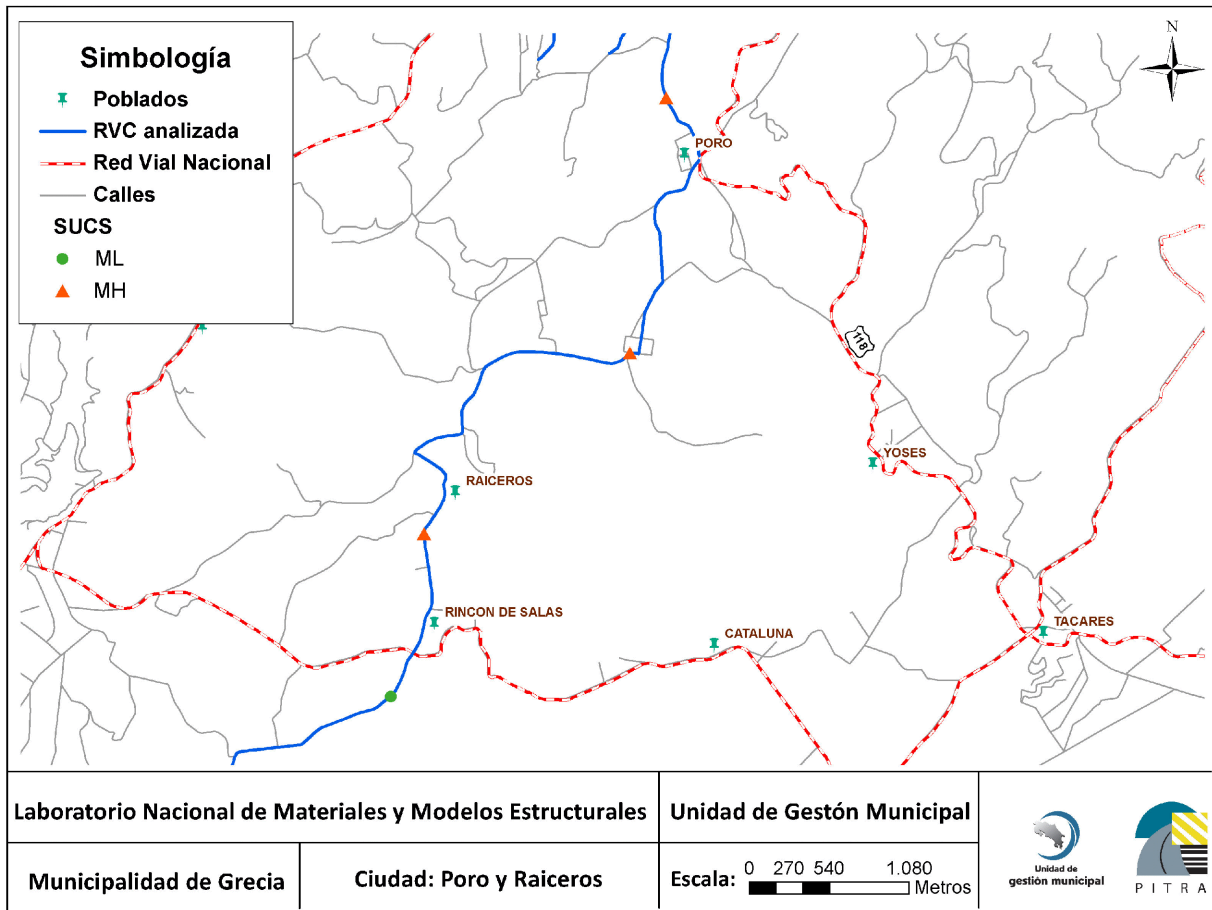


Figura 30. Caracterización de la sub-rasante según SUCS.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Clasificación AASHTO

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

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

- Grupo A-1: El material típico de este grupo es una mezcla bien gradada 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 gradado de material fino.
- Subgrupo A-1-b: Incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de arena gruesa con o sin un ligante de suelo bien gradado.
- 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 gradada 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.

La distribución de tipo de suelo según la clasificación de la AASHTO, puede observarse en las figuras 31, 32 y 33. Es de apreciar que en su mayoría corresponden a suelos A-7-6, estos son materiales finos con límite líquido alto y gran potencial de expansión.

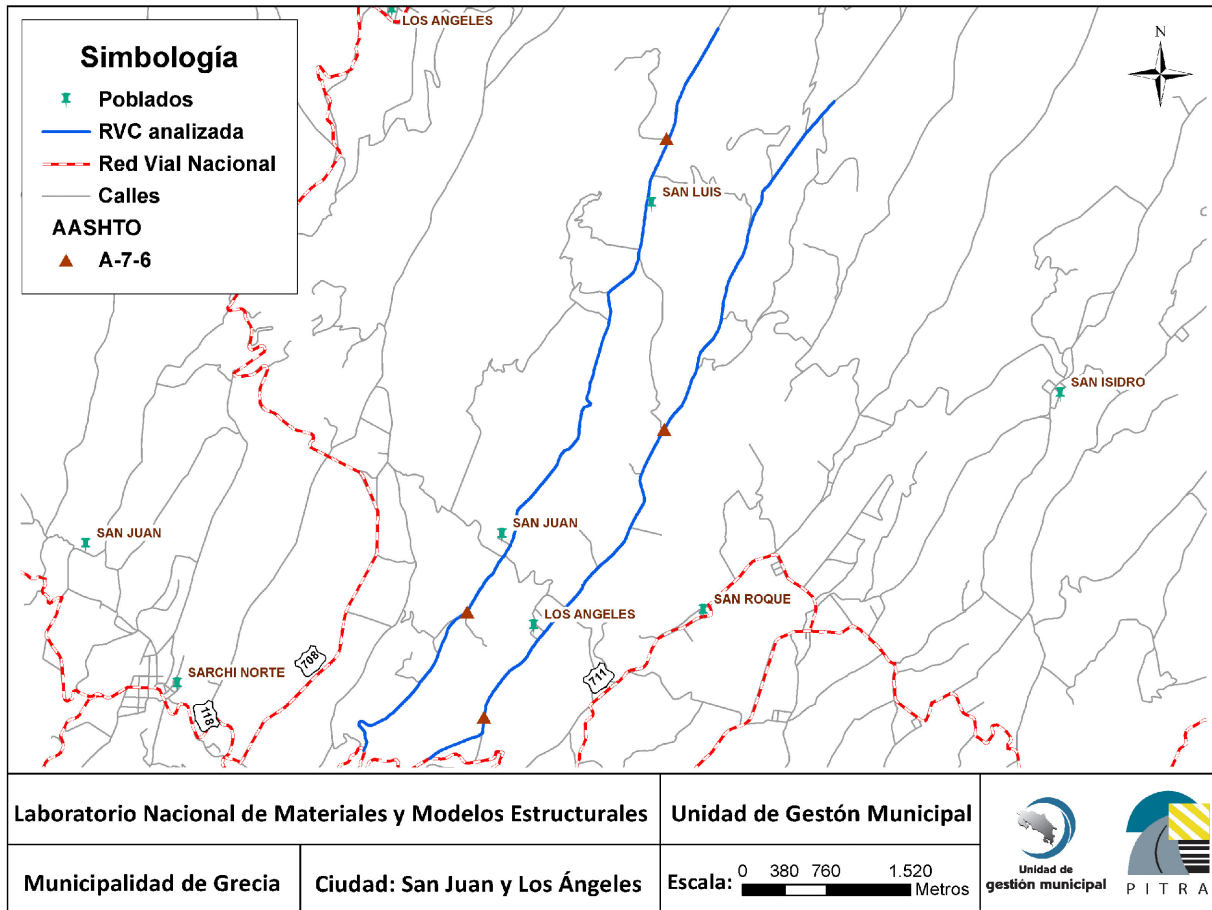


Figura 31. Caracterización de la sub-rasante según AASHTO.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

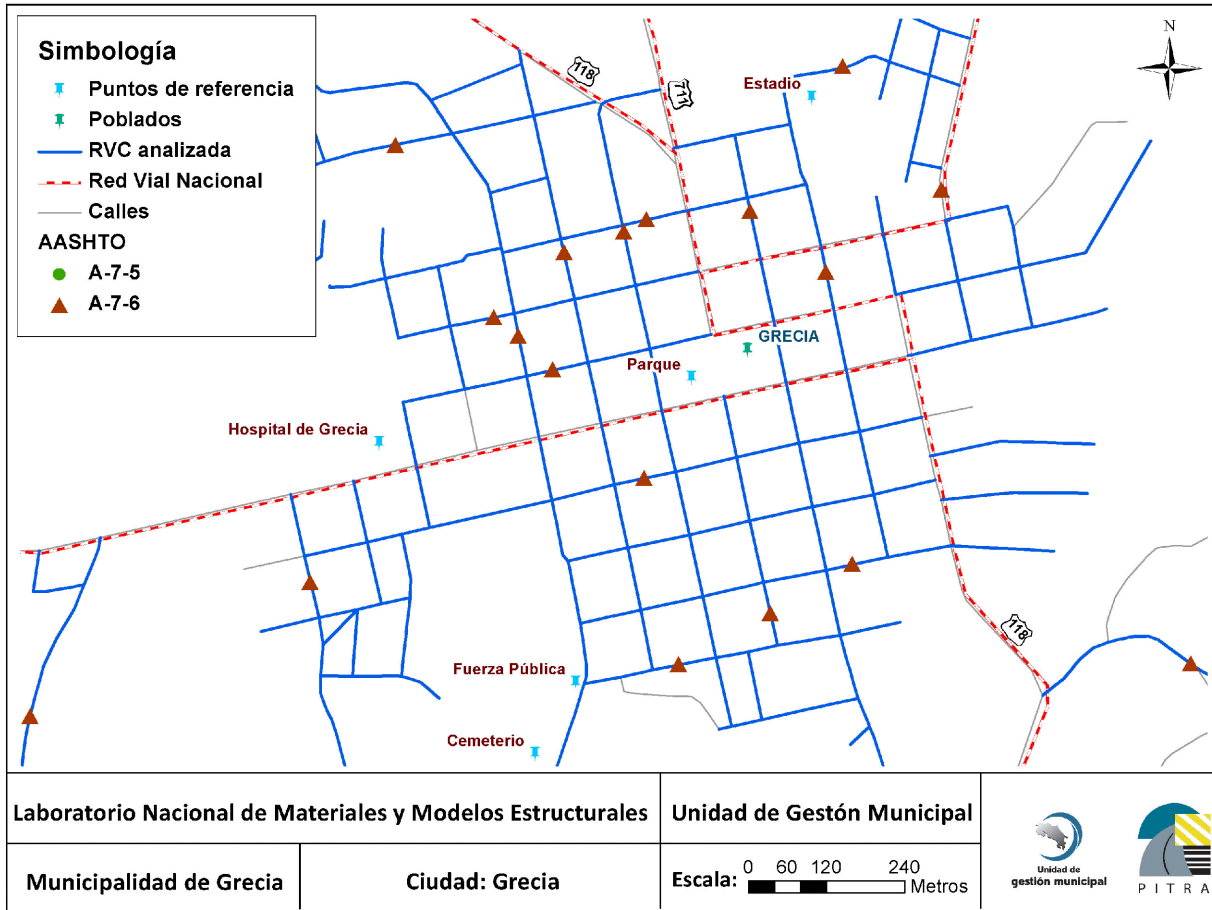


Figura 32. Caracterización de la sub-rasante según AASHTO.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

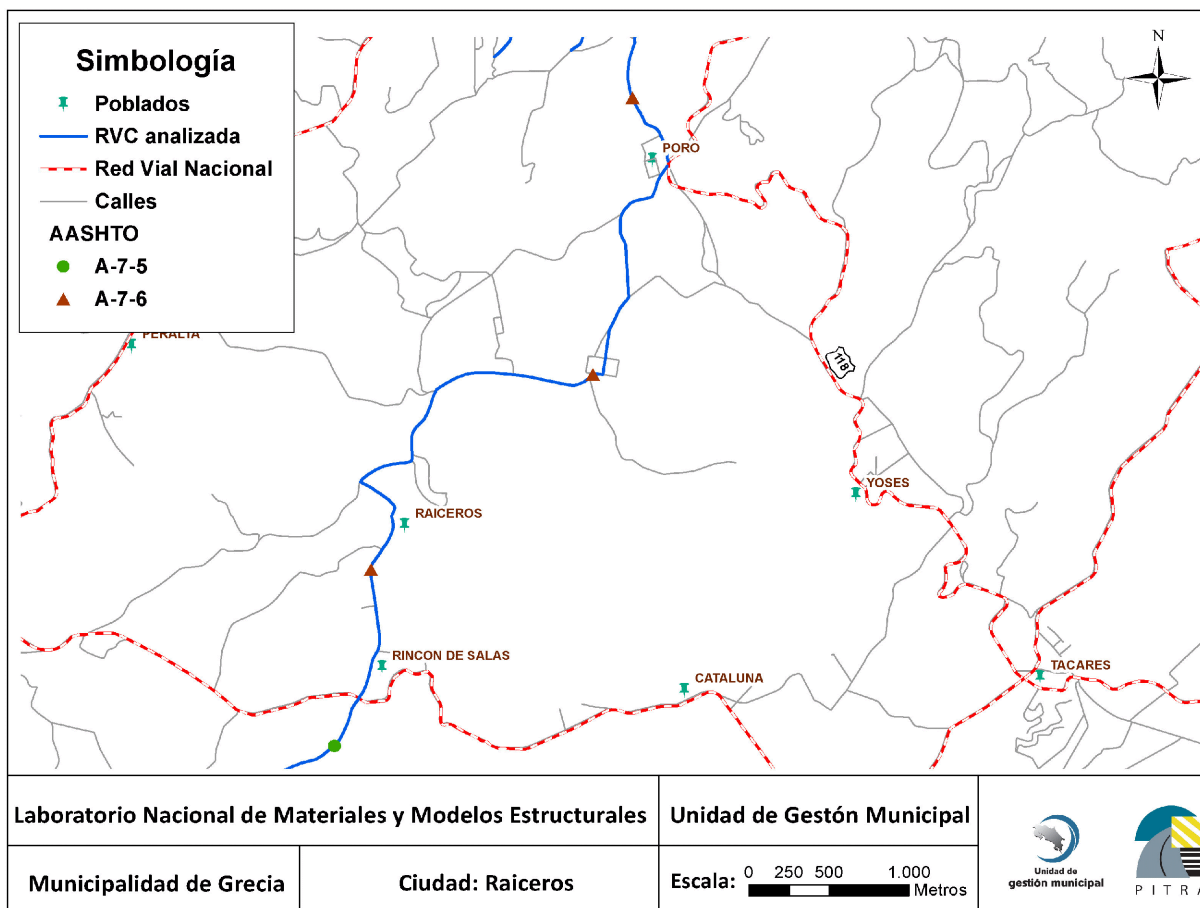


Figura 33. Caracterización de la sub-rasante según AASHTO.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

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

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

Sondeo	Porcentaje Pasando				FG	FS	CF	LL	LP	SUCS	AASHTO	AASHTO
	N°4	N°10	N°40	N°200								
1	100	100	91,8	84,1	0	15,9	84,1	66,92	41,86	MH	A-7-6	A-7-6(27)
2	100	100	98,3	92	0	8	92	75,36	55,44	MH	A-7-6	A-7-6(29)
3	100	100	95,9	84,9	0	15,1	84,9	68,35	50,69	MH	A-7-6	A-7-6(22)
4	100	100	99,6	94,3	0	5,7	94,3	66,28	43,61	MH	A-7-6	A-7-6(30)



Sondeo	Porcentaje Pasando				FG	FS	CF	LL	LP	SUCS	AASHTO	AASHTO
	N°4	N°10	N°40	N°200								
5	100	100	96,9	89,5	0	10,5	89,5	59,32	39,78	MH	A-7-6	A-7-6(23)
6	100	100	98,8	94,9	0	5,1	94,9	64,72	50,12	MH	A-7-6	A-7-6(23)
7	100	100	93,7	79,3	0	20,7	79,3	59,33	43,85	MH	A-7-6	A-7-6(17)
8	100	100	98,3	92	0	8	92	75,36	55,44	MH	A-7-6	A-7-6(29)
9	100	100	99,5	97,2	0	2,8	97,2	80,95	51,89	MH	A-7-6	A-7-6(41)
10	100	100	96,3	86,9	0	13,1	86,9	63,33	42,43	MH	A-7-6	A-7-6(24)
11	100	100	97,8	89	0	11	89	70,34	45,53	MH	A-7-6	A-7-6(30)
12	100	100	99,5	97,2	0	2,8	97,2	80,95	51,89	MH	A-7-6	A-7-6(41)
13	100	100	98,8	94,9	0	5,1	94,9	64,72	50,12	MH	A-7-6	A-7-6(23)
14	100	100	91,4	77,5	0	22,5	77,5	56,30	35,74	MH	A-7-6	A-7-6(19)
15	100	100	98,5	94,4	0	5,6	94,4	60,89	37,85	MH	A-7-6	A-7-6(28)
16 A	100	100	98,8	94,9	0	5,1	94,9	64,72	50,12	MH	A-7-6	A-7-6(23)
16 B	100	100	92,9	82	0	18	82	74,18	56,05	MH	A-7-6	A-7-6(23)
17	100	100	95,4	88,1	0	11,9	88,1	62,40	42,61	MH	A-7-6	A-7-6(24)
18	100	100	98,2	92,9	0	7,1	92,9	82,59	66,03	MH	A-7-6	A-7-6(29)
19	100	100	97,3	90,7	0	9,3	90,7	80,43	55,42	MH	A-7-6	A-7-6(34)
20	100	100	98,4	92,8	0	7,2	92,8	69,87	44,58	MH	A-7-6	A-7-6(32)
21	100	100	96,8	89,5	0	10,5	89,5	72,43	53,01	MH	A-7-6	A-7-6(27)
22	100	100	94,9	83,9	0	16,1	83,9	47,40	28,56	ML	A-7-5	A-7-5(18)
23	100	100	99,6	94,3	0	5,7	94,3	66,28	43,61	MH	A-7-6	A-7-6(30)
24	100	100	98,5	94,4	0	5,6	94,4	60,89	37,85	MH	A-7-6	A-7-6(28)
25	100	100	92,4	73,9	0	26,1	73,9	80,04	64,95	MH	A-7-6	A-7-6(19)
26	100	100	98,8	94,9	0	5,1	94,9	64,72	50,12	MH	A-7-6	A-7-6(23)
27	100	100	94,6	74	0	26	74	88,72	70,45	MH	A-7-6	A-7-6(22)

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

FG: Fracción gruesa.

FS: Factor arena.

CF: Cantidad de finos.

Gs: gravedad específica.

LL: Límite Líquido.

LP: Límite Plástico.

N°4: Tamiz N°, 4.750 mm de diámetro.

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

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

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

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

3.2.4.3 Clasificación de sub-rasante según CBR

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



Figura 34. Prueba de CBR en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para CBR y los sitios donde se realizó el ensayo. El CBR obtenido es una medida indirecta obtenida a partir del penetrómetro, el cual registra la resistencia a la penetración, también llamado, índice del cono (CI) en unidades (psi) libras por pulgada cuadrada. El valor de CBR se obtiene mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

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



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

Tabla 3. Clasificación del CBR.

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

Fuente: Bowles, J. 1981.

En las figuras 35, 36 y 37 puede observarse la distribución de los CBR obtenidos en los diferentes sitios de sondeo. Es importante mencionar que más de un 70% de las subrasantes analizadas poseen un CBR en sitio menor a 3% y un 25% posee CBR entre 3% y 7%, lo que indica que los suelos de subrasantes que se categorizan como material de resistencia entre muy pobre y pobre a regular.

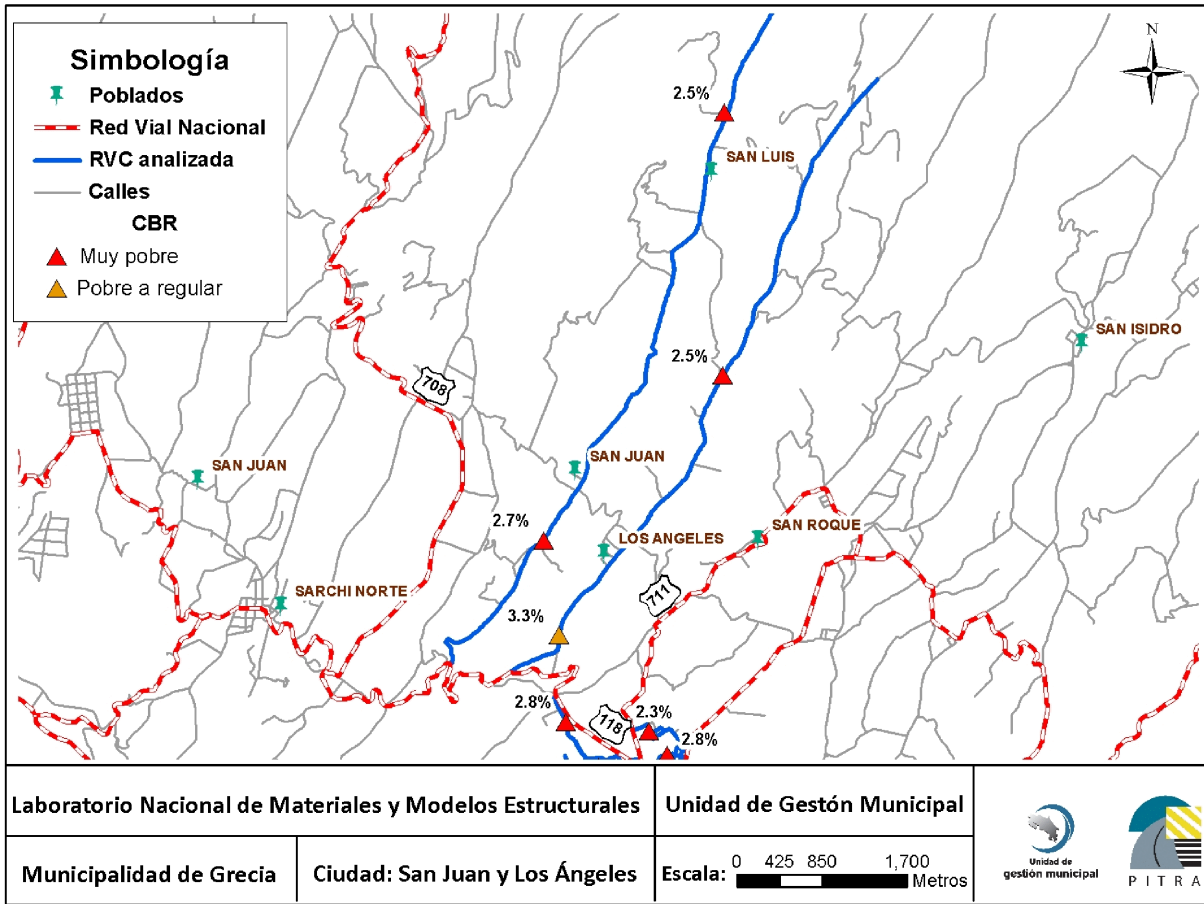


Figura 35. Clasificación del CBR según Bowles en San Juan y Los Ángeles.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

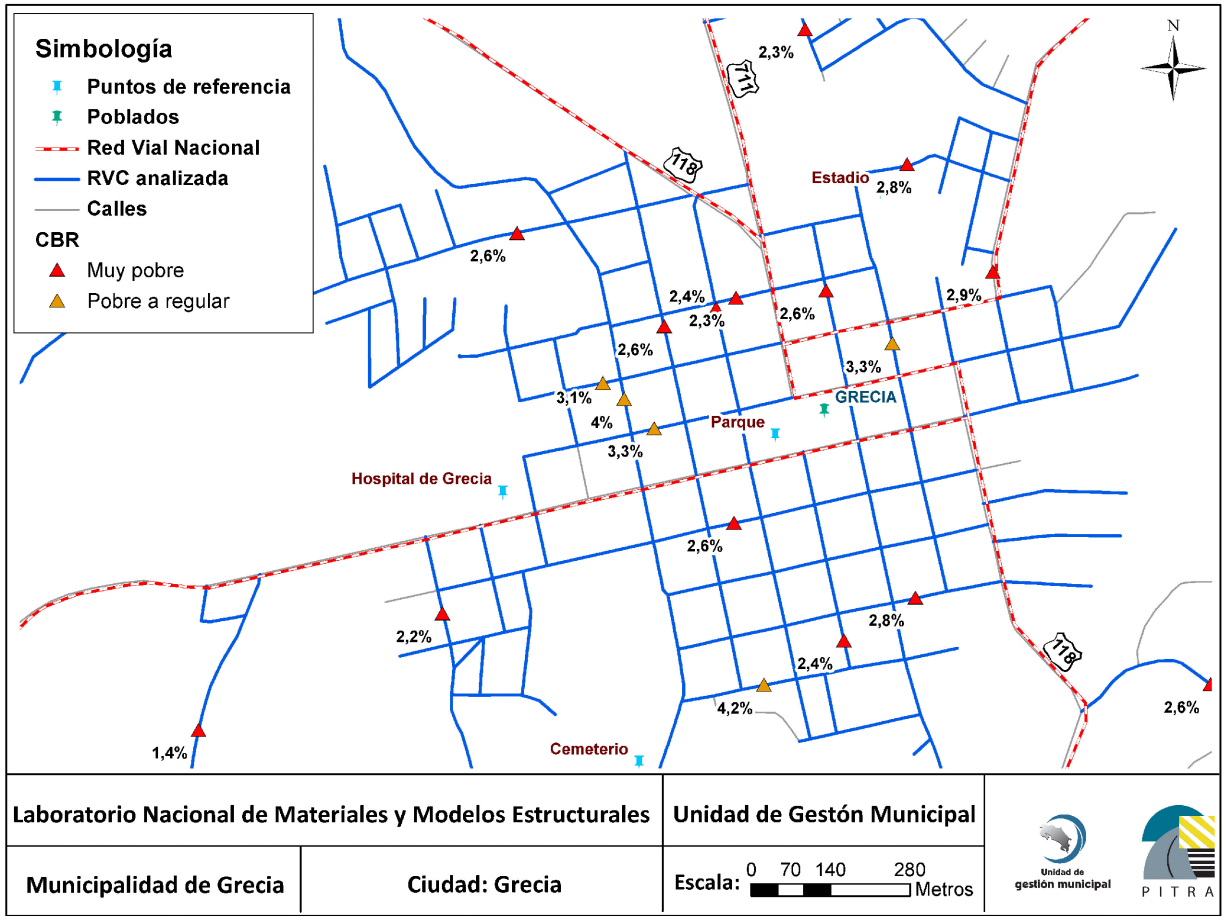


Figura 36. Clasificación del CBR según Bowles en Grecia.
Fuente: LanammeUCR, 2012.

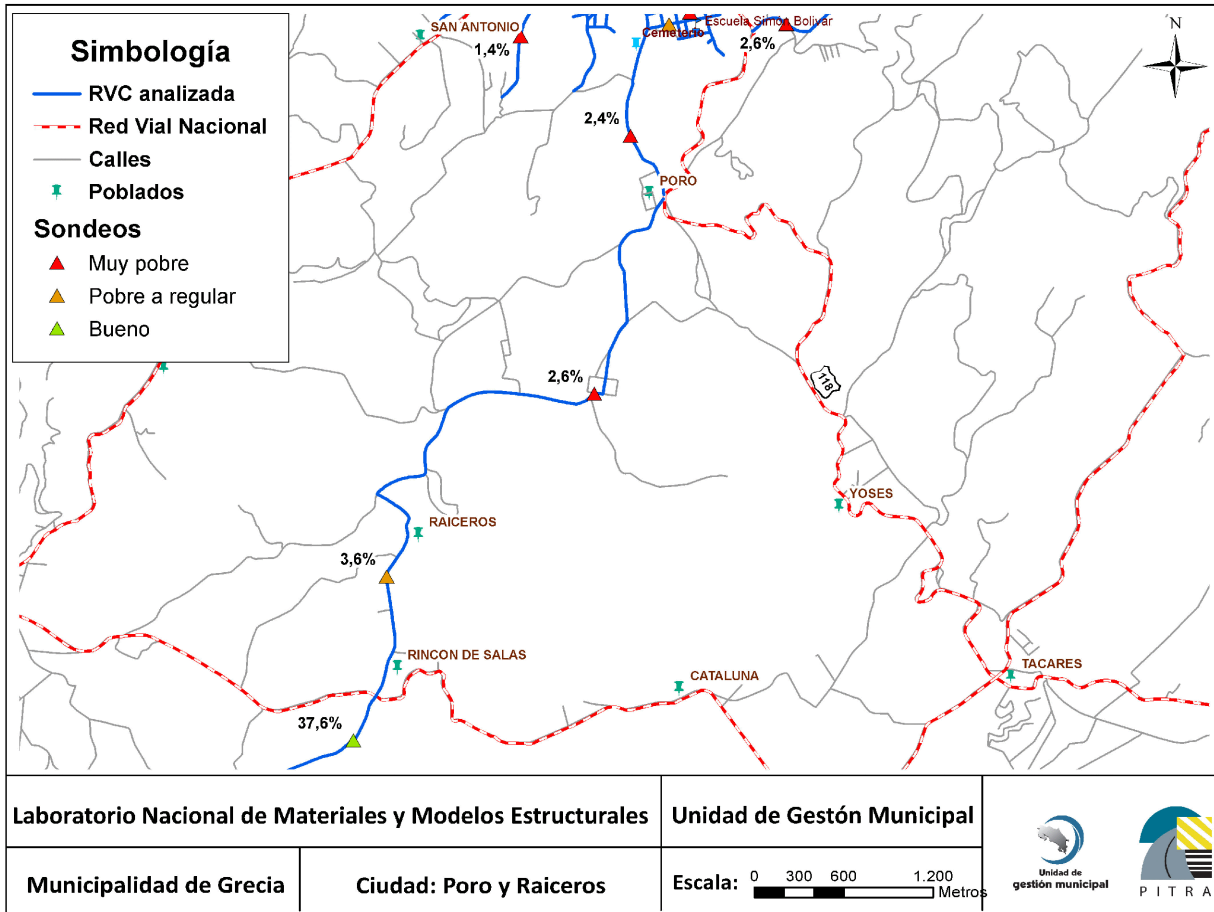


Figura 37. Clasificación del CBR según Bowles en Poro y Raiceros.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

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

Tabla 4. Índice de resistencia CBR.

Sondeo	CI	a	b	CBR
1	52	0,0820	0,7174	1,4
2	123,6	0,0820	0,7174	2,6
3	121,7	0,0820	0,7174	2,6
4	108,1	0,0820	0,7174	2,4
5	139,6	0,0820	0,7174	2,8
6	242,6	0,0820	0,7174	4,2

Sondeo	CI	a	b	CBR
7	121,8	0,0820	0,7174	2,6
8	110,1	0,0820	0,7174	2,4
9	111,11	0,0820	0,7174	2,4
10	135,3	0,0820	0,7174	2,8
11	142,5	0,0820	0,7174	2,9
12	160,6	0,0820	0,7174	3,1
13	135,8	0,0820	0,7174	2,8
14	223,3	0,0820	0,7174	4,0
15	120,7	0,0820	0,7174	2,6
16 A	104,4	0,0820	0,7174	2,3
16 B	121,8	0,0820	0,7174	2,6
17	172	0,0820	0,7174	3,3
18	117,9	0,0820	0,7174	2,5
19	118,2	0,0820	0,7174	2,5
20	133,2	0,0820	0,7174	2,7
21	121,5	0,0820	0,7174	2,6
22	2643,2	0,1111	0,7390	37,6
23	190,7	0,0820	0,7174	3,5
24	103,6	0,0820	0,7174	2,3
25	172	0,0820	0,7174	3,3
26	171,1	0,0820	0,7174	3,3
27	99,5	0,0820	0,7174	2,2

Fuente: LanammeUCR, 2012.

3.2.5 Definir tramos homogéneos

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

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

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



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

En el estudio realizado para la Municipalidad de Grecia se obtuvieron 88 tramos homogéneos a partir de aproximadamente 47 km evaluados, a continuación se tabula el número de tramo y la longitud aproximada en metros para los tramos ubicados en la zona; además, en la figura 38, figura 39 y se muestra su ubicación en la red vial cantonal.

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

Id	Long (m)	Id	Long (m)	Id	Long (m)
1	745	29	377	59	389
2	142	30	292	60	150
3	1069	31	291	61	923
4	290	32	294	62	649
5	616	33	733	64	864
6	592	34	533	65	588
7	289	35	289	66	478
8	484	36	286	67	91
9	257	38	213	68	105
10	225	39	497	69	218
11	254	40	152	70	205
12	577	41	445	71	759
13	214	42	316	72	644
14	219	43	182	73	3879
15	400	44	169	75	1856
16	95	45	225	76	907
17	323	46	950	77	379
18	782	47	736	79	1422
20	672	49	271	80	438
21	193	50	99	81	449
22	178	51	93	82	2945
23	220	52	276	84	454
24	96	53	583	85	1700

Id	Long (m)	Id	Long (m)	Id	Long (m)
25	97	56	390	86	5018
26	235	57	251	87	2386
27	97	58	290	88	98
28	390				

Fuente: LanammeUCR, 2012.

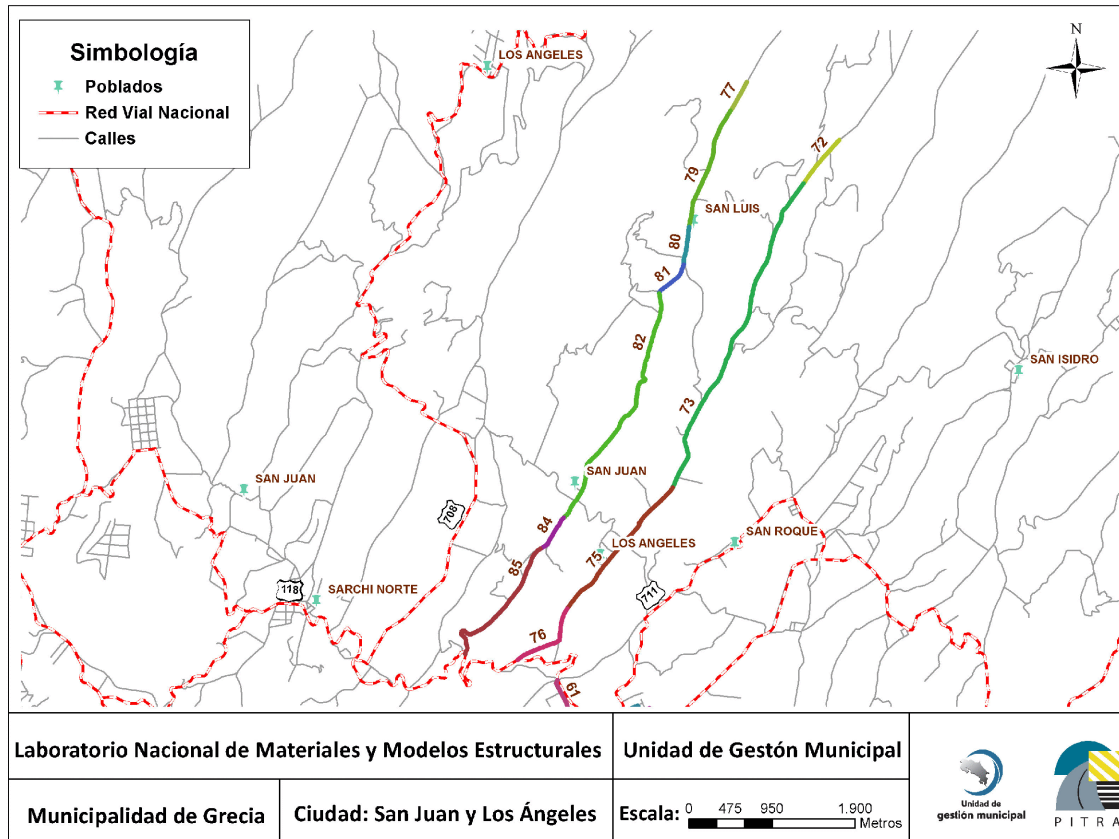


Figura 38. Ubicación de diferentes tramos homogéneos en San Juan y Los Ángeles.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

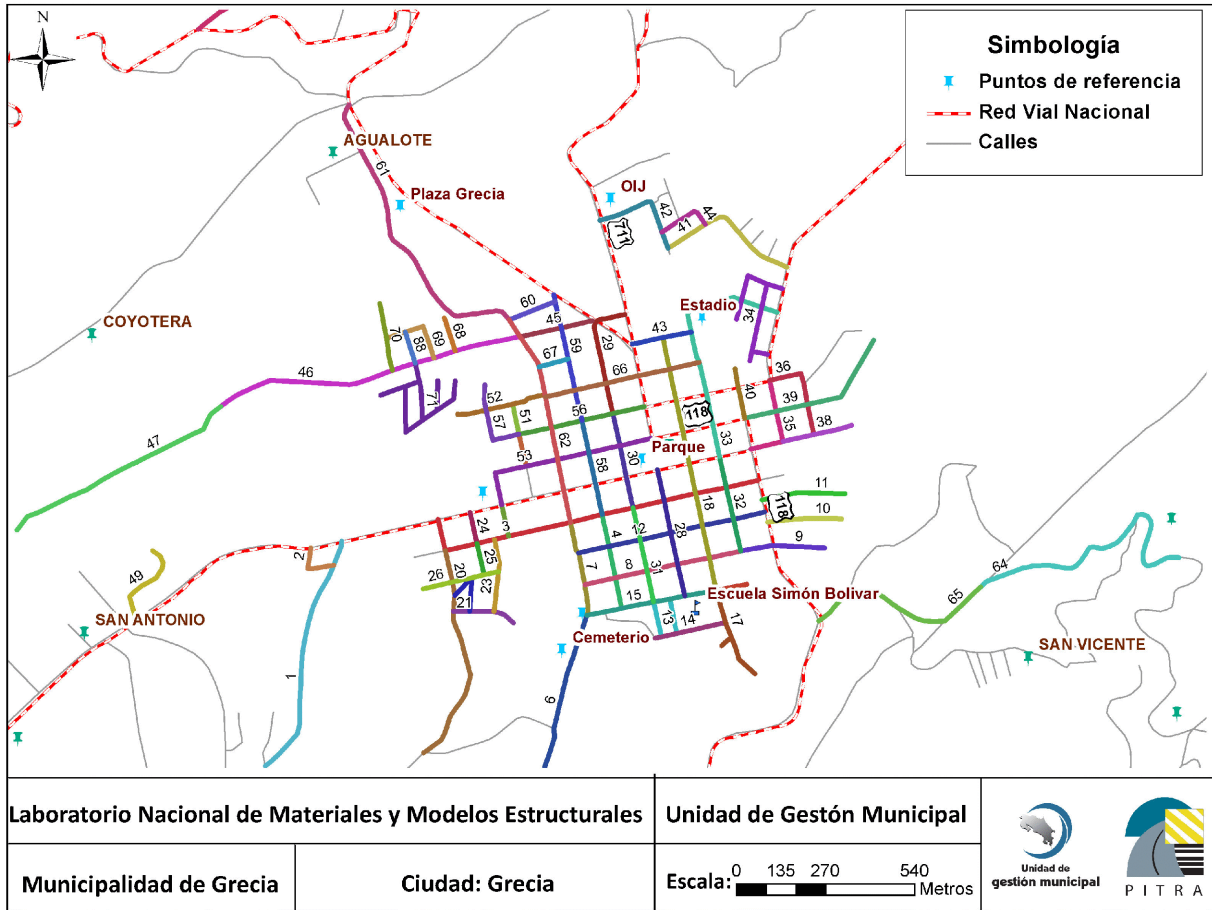


Figura 39. Ubicación de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Grecia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

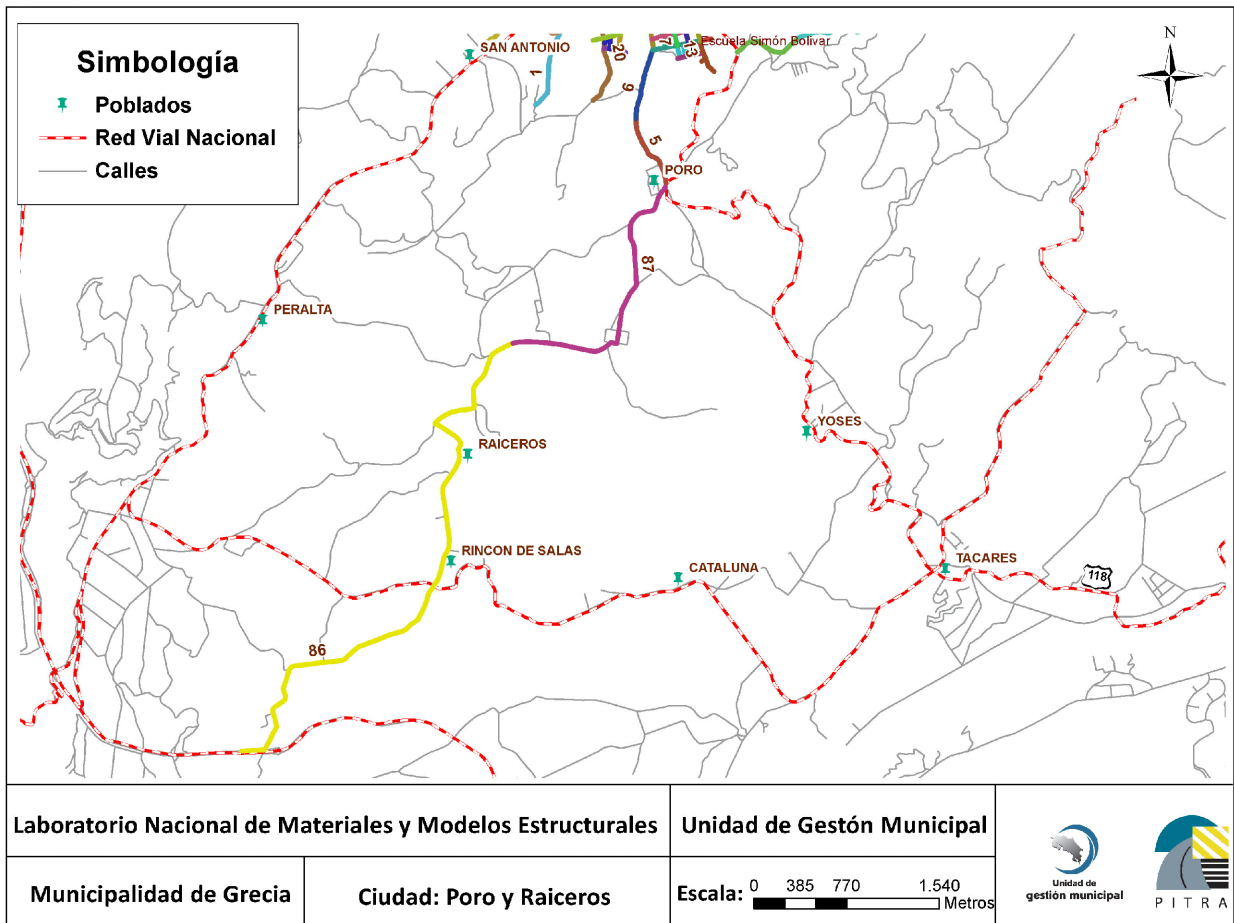


Figura 40. Ubicación de diferentes tramos homogéneos ubicados en Poro y Raiceros.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

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

3.2.5.1 Deflexión Promedio

Para categorizar el estado estructural de cada tramo homogéneo también se utiliza la clasificación que se presenta en la figura 19, donde se consideran diferentes intervalos para clasificar la deflectometría según el TPD de las vías y el tipo de estructura (pavimento con base granular o estabilizada).

En las figuras 41, 42 y 43 se muestra de manera gráfica la caracterización de la red evaluada, según los valores promedio de las deflexiones.

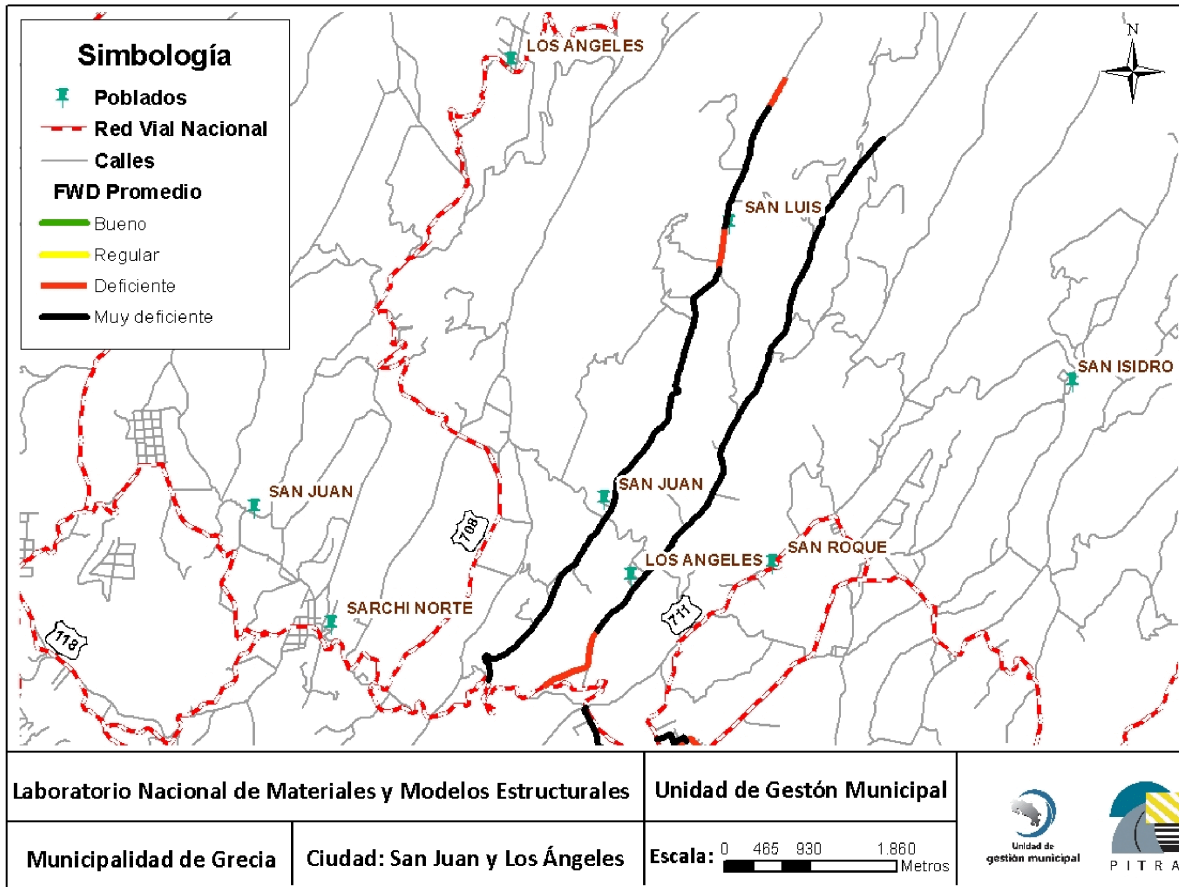


Figura 41. Deflectometría promedio de las vías analizadas en San Juan y Los Ángeles.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

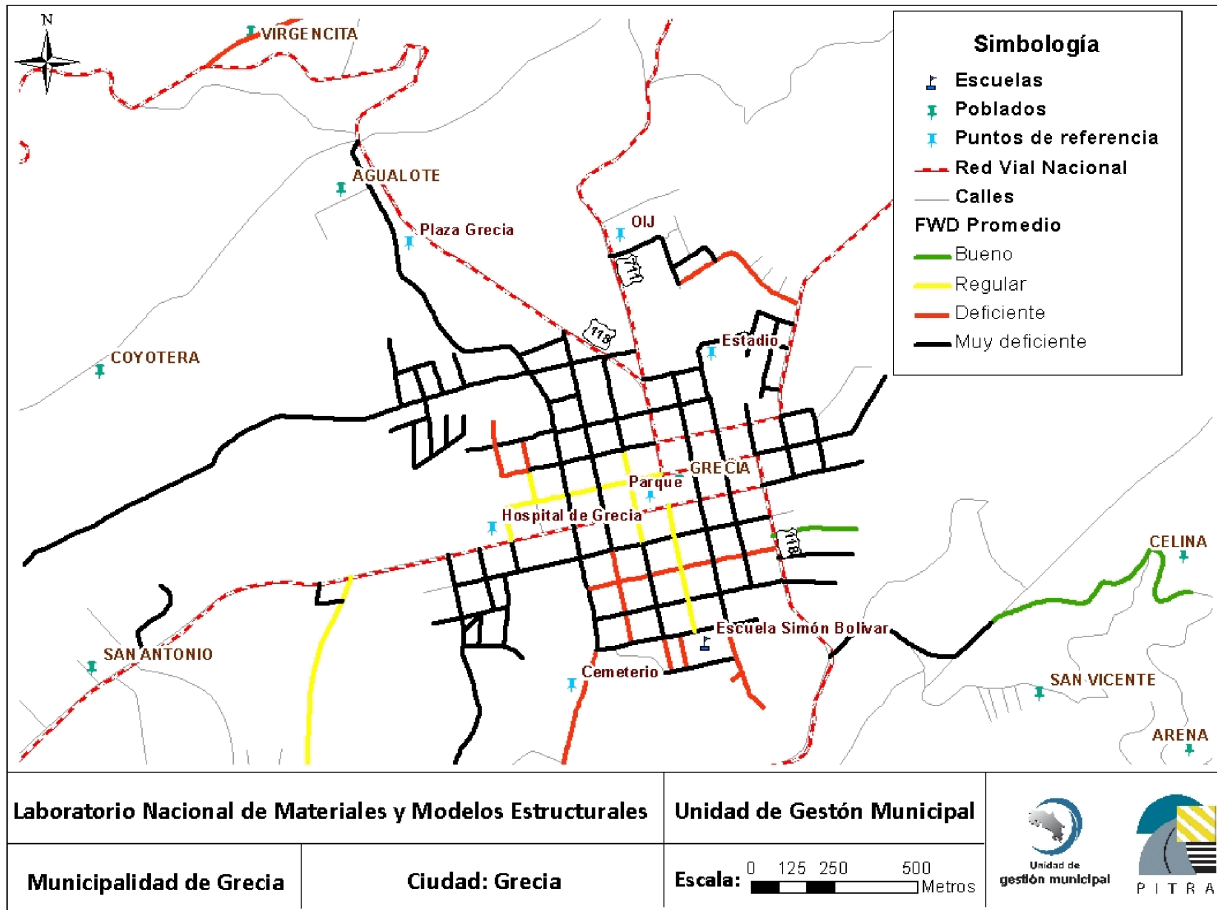


Figura 42. Deflectometría promedio de las vías analizadas en Greccia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

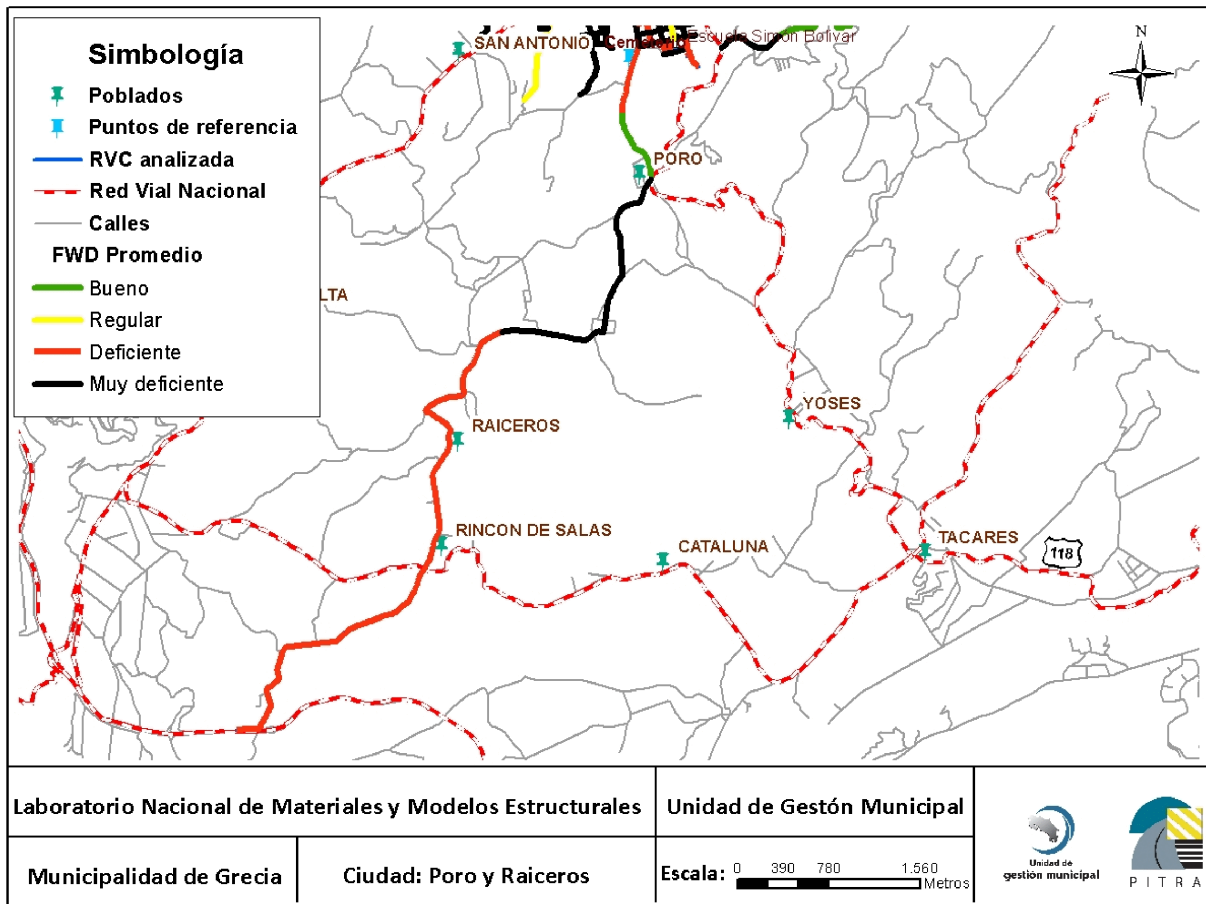


Figura 43. Deflectometría promedio de las vías analizadas en Poro y Raiceros.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Para cada categoría de condición estructural se realiza un análisis en el que se determinan la cantidad de metros lineales y cantidad de tramos homogéneos asociados, los cuales se sintetizan en la figura 44 y figura 45.

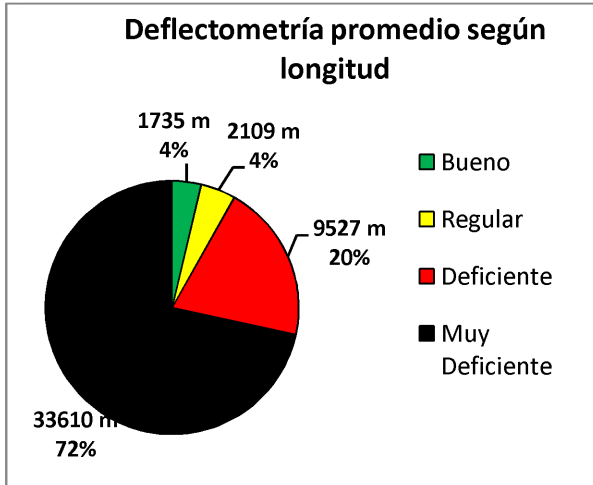


Figura 44. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

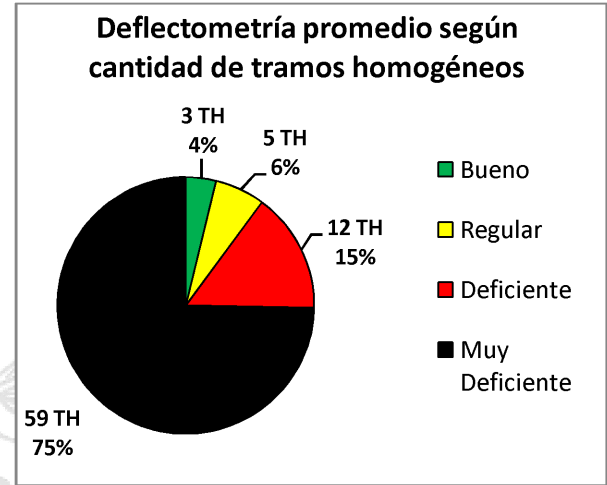


Figura 45. Porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el FWD promedio.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En las figuras 44 y 45 es posible observar que más del 92% (43 km) de la longitud de los tramos evaluados posee una estructura del pavimento con un nivel de deterioro importante (deficiente, muy deficiente) y por lo consiguiente una baja capacidad para soportar las cargas de tránsito a las que se ve sometida; esto corresponde a 71 tramos homogéneos de los 79 generados. Por otro lado, se rescata que sólo un 4% cuenta con una buena capacidad estructural, lo que representa 1,7 km de las rutas evaluadas en Grecia.

3.2.5.2 *IRI promedio*

De la misma forma como se clasificó el IRI en la sección 3.2.2.1, se realiza una caracterización mediante los valores promedio de cada tramo ($IRI_{promedio}$) con el fin de identificar la variación en el tramo y el valor más representativo del mismo. El análisis por $IRI_{promedio}$ indica que las rutas en estudio presentan un deterioro importante de la condición superficial, en las figuras 46, 47 y 48 es posible visualizar la condición de IRI promedio para los diferentes tramos.

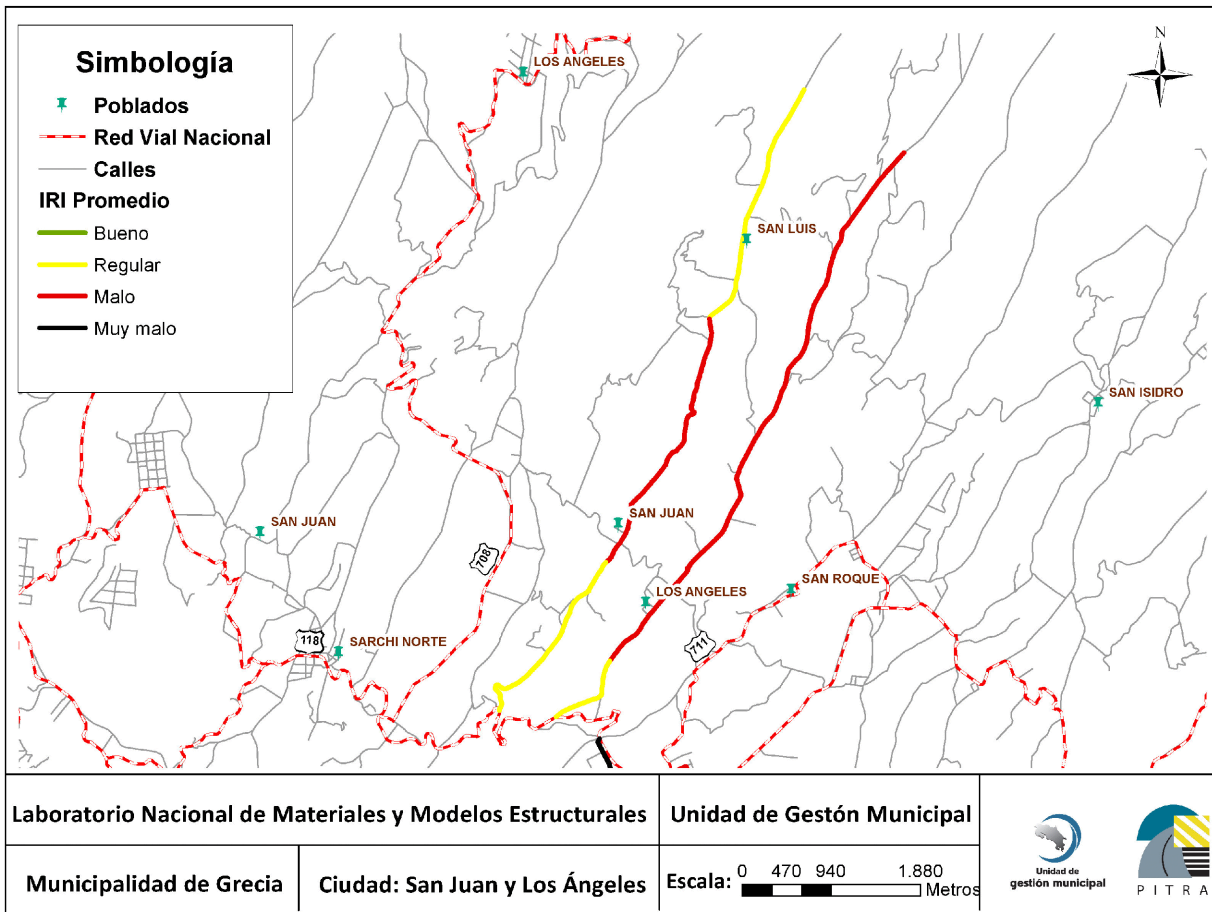


Figura 46. IRI promedio para las vías analizadas en San Juan y Los Ángeles.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

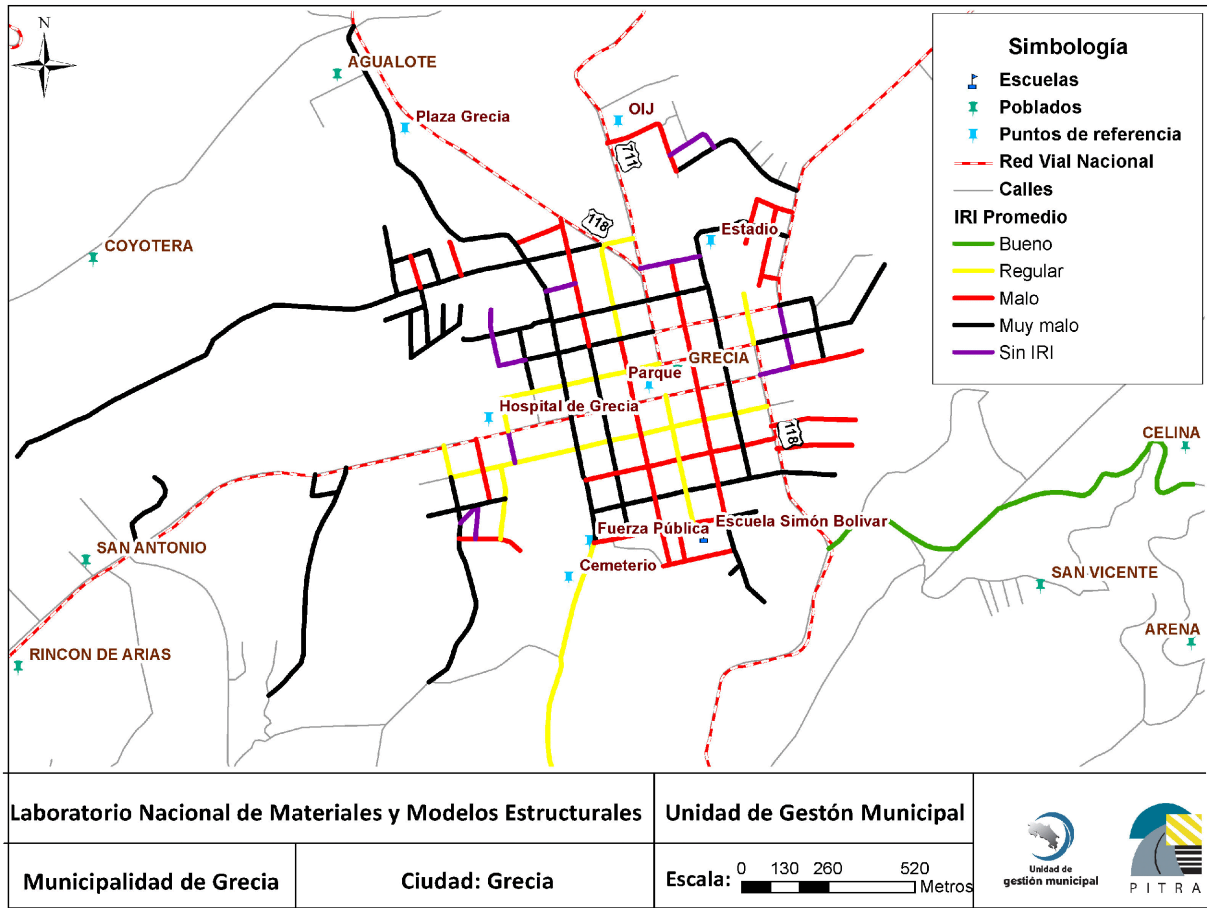


Figura 47. IRI promedio para las vías analizadas en Grecia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

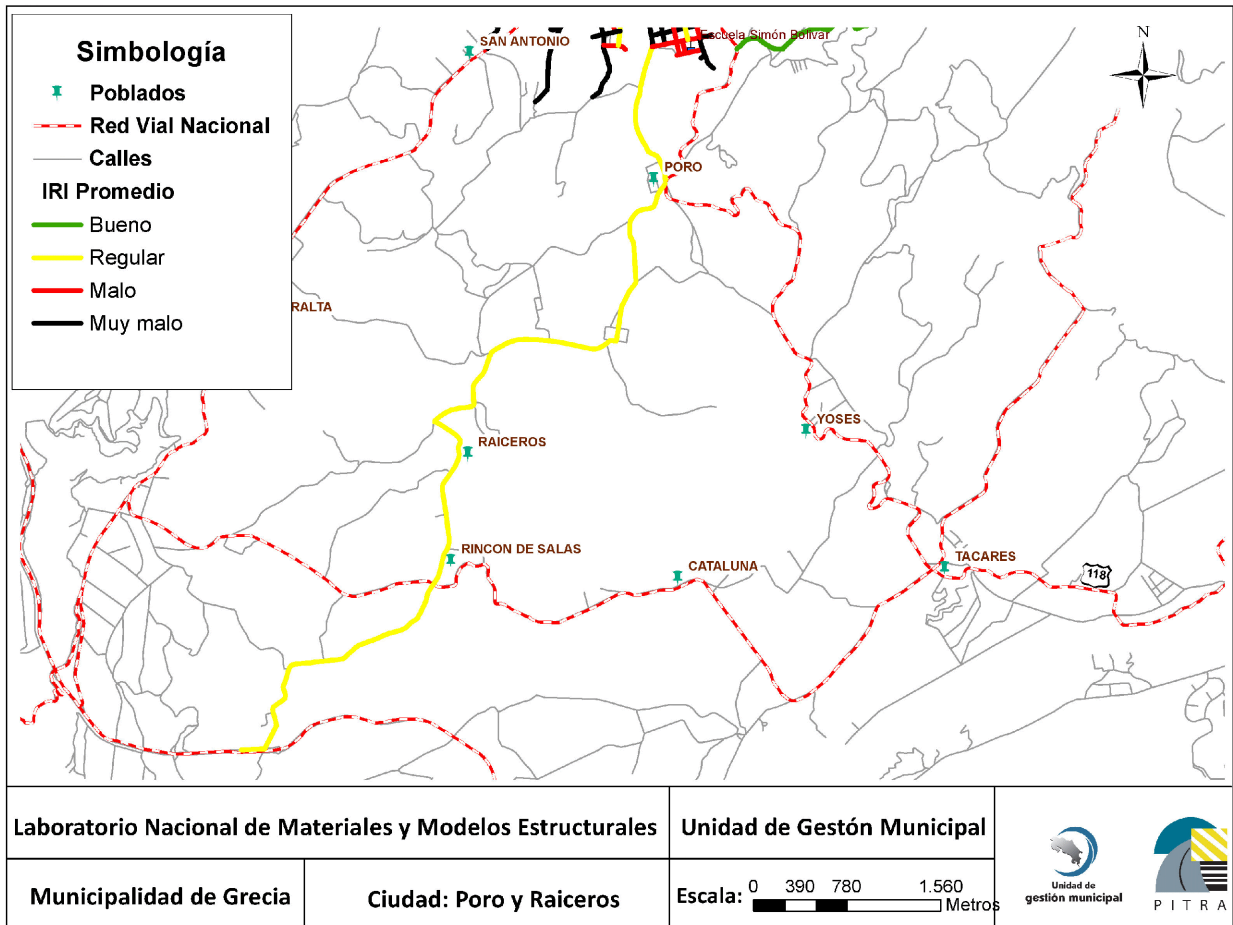


Figura 48. IRI promedio para las vías analizadas en Poro y Raiceros.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

La distribución de la cantidad de tramos homogéneos y de los metros lineales asociados a cada categoría de IRI se muestra porcentualmente en las figuras 49 y 50. De los cuales se destaca que el 67% (ver Figura 50) de los tramos evaluados en Grecia poseen un IRI superior a 6,4 m/km, correspondiente a una vía con irregularidades importantes. La irregularidad en la superficie de rueda implica un mayor costo de operación para los usuarios, mayor tiempo en el traslado y un viaje poco confortable sobre estos tramos. Estas irregularidades también ocasionan un deterioro acelerado de la estructura, debido a las cargas dinámicas que se ve sometida, ocasionado por el golpeteo de los vehículos al transitar por una ruta irregular.

Es posible establecer que un 40% (ver Figura 49) de la longitud evaluada en Grecia presenta un IRI promedio del tramo inferior a 6,4 m/km, lo cual se asocia a una condición superficial confortable para las velocidades de operación en una ruta cantonal.

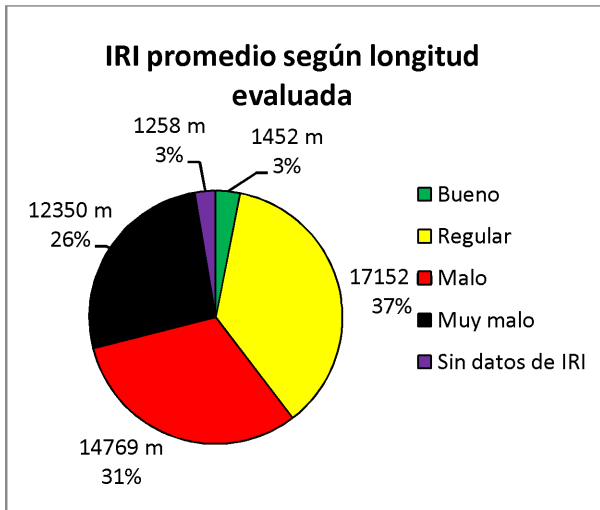


Figura 49. Porcentaje de metros clasificados según el IRI promedio.
Fuente: LanammeUCR, 2012.

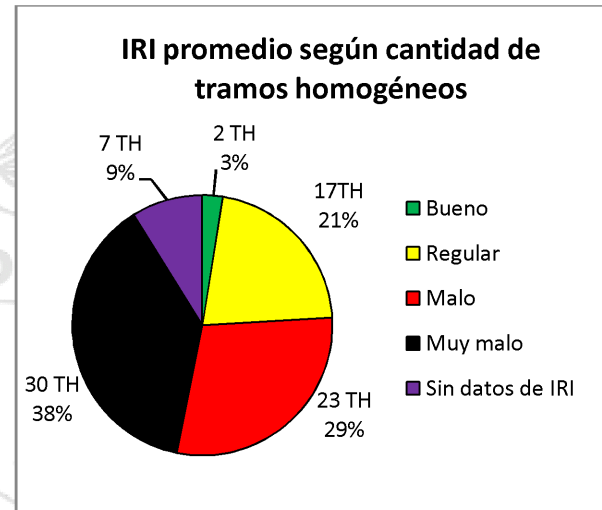


Figura 50. Porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el IRI promedio.
Fuente: LanammeUCR, 2012.

3.2.6 Notas Calidad

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

La metodología plantea matrices que relacionan la capacidad estructural (valores de deflectometría) con la capacidad funcional (IRI) evaluada, de manera que se genera una "nota" según el estado general en el que se encuentra un tramo. Hay diferentes matrices según el nivel de flujo vehicular asociado a una ruta, ya que la caracterización de la capacidad estructural de una ruta es función del tránsito vehicular, ya que una ruta de alto

tránsito requiere una mayor capacidad (menor deflexión) para soportar las cargas 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.

Se propone una serie de matrices que establecen notas de calidad en función de los valores de IRI y deflectometría. Cada nota se encuentra asociada a la condición que presenta la ruta al ser evaluada, en las tablas 6 y 7 se muestran las matrices utilizadas.

Tabla 6. Notas de calidad para un tránsito inferior a los 5000 vehículos diarios para una estructura con base granular.

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

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Tabla 7. Notas de calidad para un tránsito superior a los 5000 vehículos diarios e inferior a 15000 vehículos diarios para una estructura con base granular.

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

Fuente: LanammeUCR, 2012.

El uso de colores en las tablas 6 y 7 refleja, de manera general, el tipo de intervención (a nivel de gestión) que requiere cada una de las categorías. Los colores verdes representan actividades relacionadas con el mantenimiento, el amarillo se refiere a tramos que requieren



recuperación de la capacidad funcional, el azul requiere un proceso de análisis a nivel de proyecto ya que se encuentra en una condición intermedia, los colores rosados representan tramos que requieren rehabilitación menor, los colores naranjas y rojos representan una rehabilitación mayor y los negros requieren reconstrucción, en la siguiente sección se amplía la descripción de los diferentes tipos de intervenciones.

Cada una de las categorías que se muestran en los cuadros 6 y 7 están asociadas a una descripción que caracteriza las condiciones generales en las que se encuentran los tramos en estudio, así como la intervención que se recomienda. Esta descripción, al igual que los Cuadros 6 y 7, son una adaptación a las condiciones municipales de las notas de calidad expuestas en el informe LM-PI-UE-05-11.

3.2.6.1 Definición de las notas de calidad

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



con esta nota son candidatos a mantenimientos de preservación de bajo costo, enfocadas a atender la pérdida de capacidad estructural, con el objetivo de detener o retardar su avance.

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

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

- RH-RF: Los pavimentos es esta categoría poseen una condición de ruedo similar a M-RF, sin embargo, presentan una peor condición estructural, por lo que la presencia de deterioros es mayor. En estos tramos la velocidad de deterioro se intensifica por lo que son propensos a pasar a la categoría R3 a corto plazo. Estas estructuras son candidatas a intervenciones de tipo rehabilitación menor, enfocadas a recuperar la pérdida de capacidad funcional y estructural en el corto plazo para evitar o retardar un mayor deterioro.
- Q6, Q8 y Q9: Estos tramos presentan una condición estructural muy deficiente, en el caso de que presenten una buena condición 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 de la red vial analizada

Las notas de calidad se asignaron según el procedimiento descrito en la sección 3.2.6 utilizando las tablas 6 y 7, donde los parámetros utilizados para la asignación de cada nota de calidad son el IRI promedio y la deflectometría promedio caracterizada según el tipo de base asociada y flujo vehicular característico.

En la tabla 8 se puede observar el detalle de los valores promedio de IRI y deflectometría para cada tramo homogéneo, además se indica la nota de calidad asociada a los valores obtenidos.

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

Id	Longitud (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Nota de Calidad
1	745	84,80	10,67	RH-RF
2	142	134,49	12,44	NP
3	1069	138,51	5,73	R-2
4	290	114,74	11,76	R-3
5	616	62,14	4,95	Q2
6	592	94,80	6,11	Q8
7	289	172,65	13,18	NP
8	484	155,50	13,39	NP
9	257	149,57	12,01	NP
10	225	132,01	8,39	R-3
11	254	76,09	7,01	Q4
12	577	109,88	8,80	Q9
13	214	112,63	9,21	Q9
14	219	143,75	9,68	R-3
15	400	122,32	7,56	R-3
16	95	125,89	10,03	NP
17	323	114,27	13,78	R-3
18	782	163,61	9,30	R-3
20	672	162,87	10,58	NP
21	193	128,36	9,82	R-3

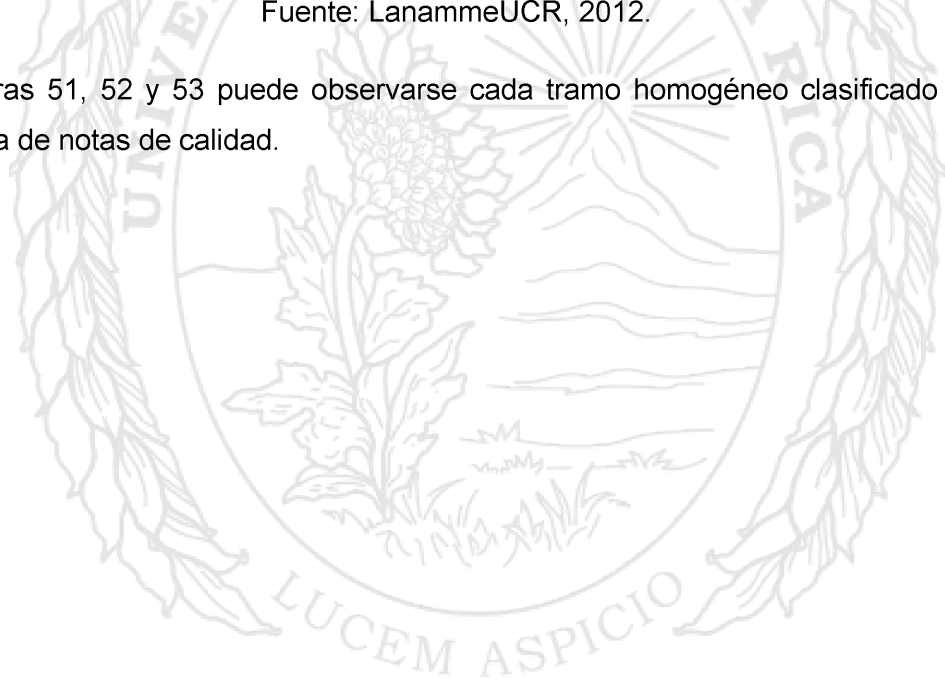


Id	Longitud (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Nota de Calidad
22	178	193,44	NO IRI	-
23	220	174,62	5,96	R-2
24	96	166,17	9,69	R-3
25	97	134,44	6,67	R-3
26	235	194,21	12,53	NP
27	97	207,39	NO IRI	-
28	390	78,88	6,03	Q5
29	377	113,68	5,23	R-2
30	292	78,37	8,14	Q7
31	291	122,93	8,99	R-3
32	294	169,45	11,43	NP
33	733	144,53	11,62	NP
34	533	169,67	7,95	R-3
35	289	137,73	NO IRI	-
36	286	173,05	11,12	NP
38	213	156,60	9,27	R-3
39	497	119,07	10,22	NP
40	152	183,19	5,75	R-2
41	445	109,60	11,12	R-3
42	316	205,06	8,11	R-3
43	182	145,04	NO IRI	-
44	169	125,76	NO IRI	-
45	225	135,54	13,92	NP
46	950	159,58	10,07	NP
47	736	161,98	12,01	NP
49	271	173,73	NO IRI	-
50	99	81,34	13,49	RH-RF
51	93	102,45	11,04	R-3
52	276	131,49	14,21	NP
53	583	82,90	4,71	Q5
56	390	158,78	11,29	NP
57	251	91,98	NO IRI	-
58	290	150,72	14,06	NP
59	389	204,66	7,69	R-3
60	150	184,57	7,48	R-3
61	923	152,51	13,02	NP
62	649	146,90	11,69	NP
64	864	70,89	2,95	Q1
65	588	120,49	3,45	R-1
66	478	175,35	12,12	NP
67	91	173,51	NO IRI	-

Id	Longitud (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Nota de Calidad
68	105	161,54	9,63	R-3
69	218	190,16	13,42	NP
70	205	150,08	12,82	NP
71	759	198,86	13,34	NP
72	644	222,48	8,18	R-3
73	3879	162,11	8,86	R-3
75	1856	140,23	6,59	R-3
76	907	104,11	5,54	Q8
77	379	98,93	5,61	Q8
79	1422	155,33	6,01	R-2
80	438	97,32	6,10	Q8
81	449	170,27	5,36	R-2
82	2945	124,24	6,58	R-3
84	454	189,45	3,70	R-2
85	1700	127,50	4,71	R-2
86	5018	89,46	5,42	Q8
87	2386	146,13	6,07	R-2
88	98	133,91	8,23	R-3

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En las figuras 51, 52 y 53 puede observarse cada tramo homogéneo clasificado según la metodología de notas de calidad.



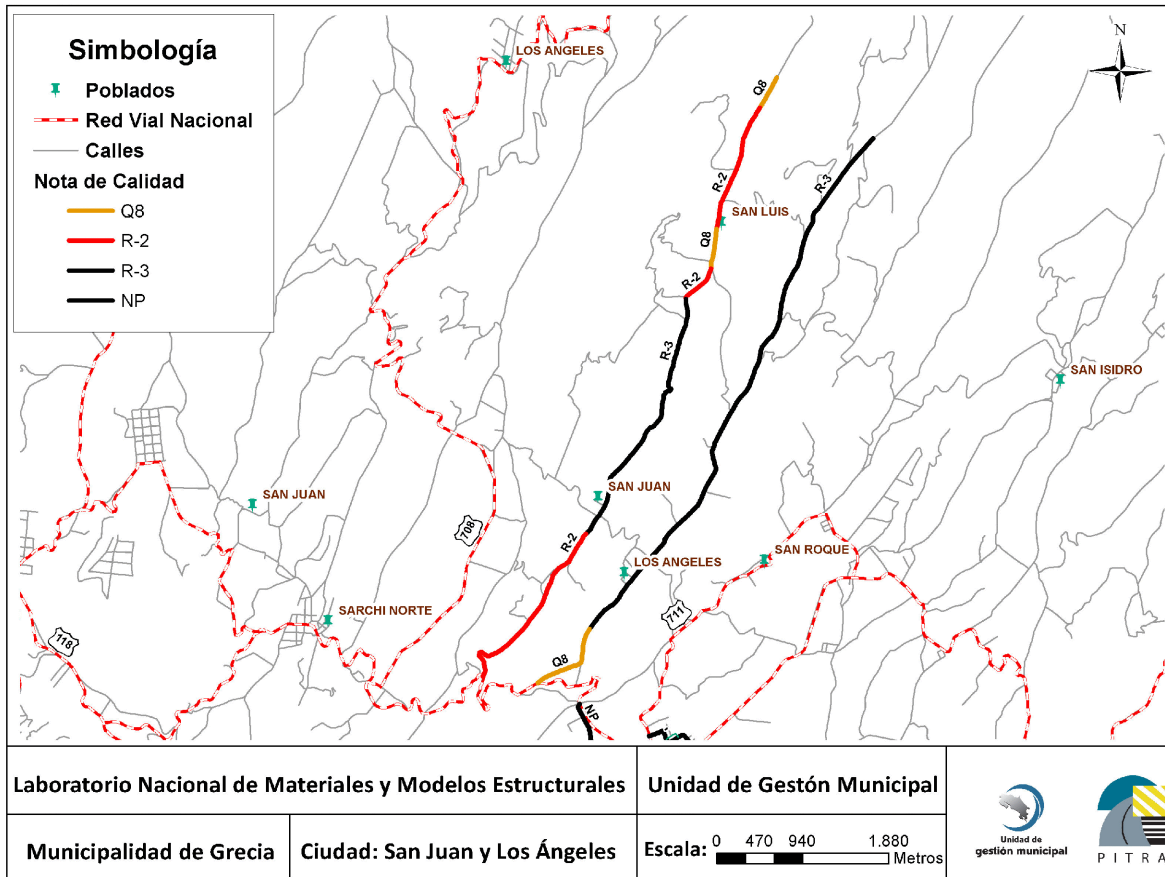


Figura 51. Notas de Calidad para los diferentes tramos homogéneos analizados en las localidades de San Juan y Los Ángeles.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

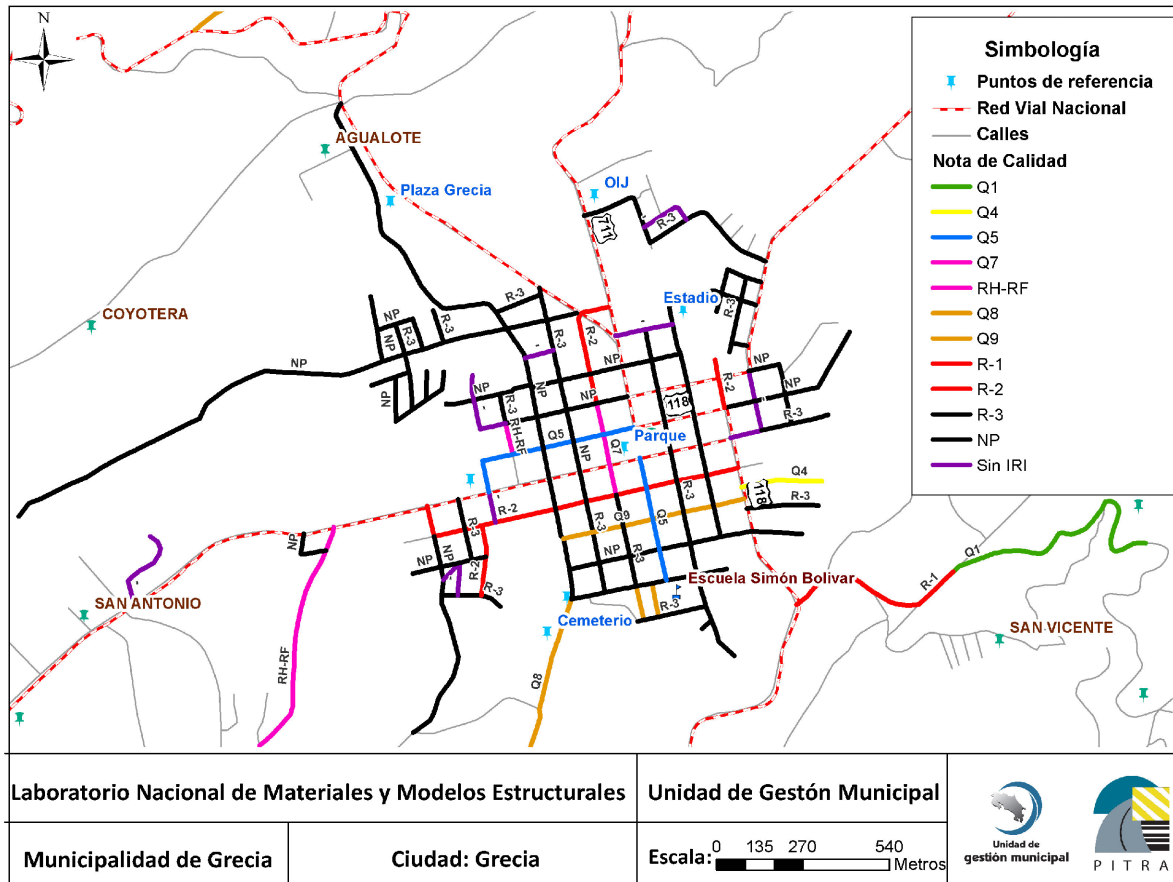


Figura 52. Notas de Calidad para los diferentes tramos homogéneos analizados en la localidad de Grecia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

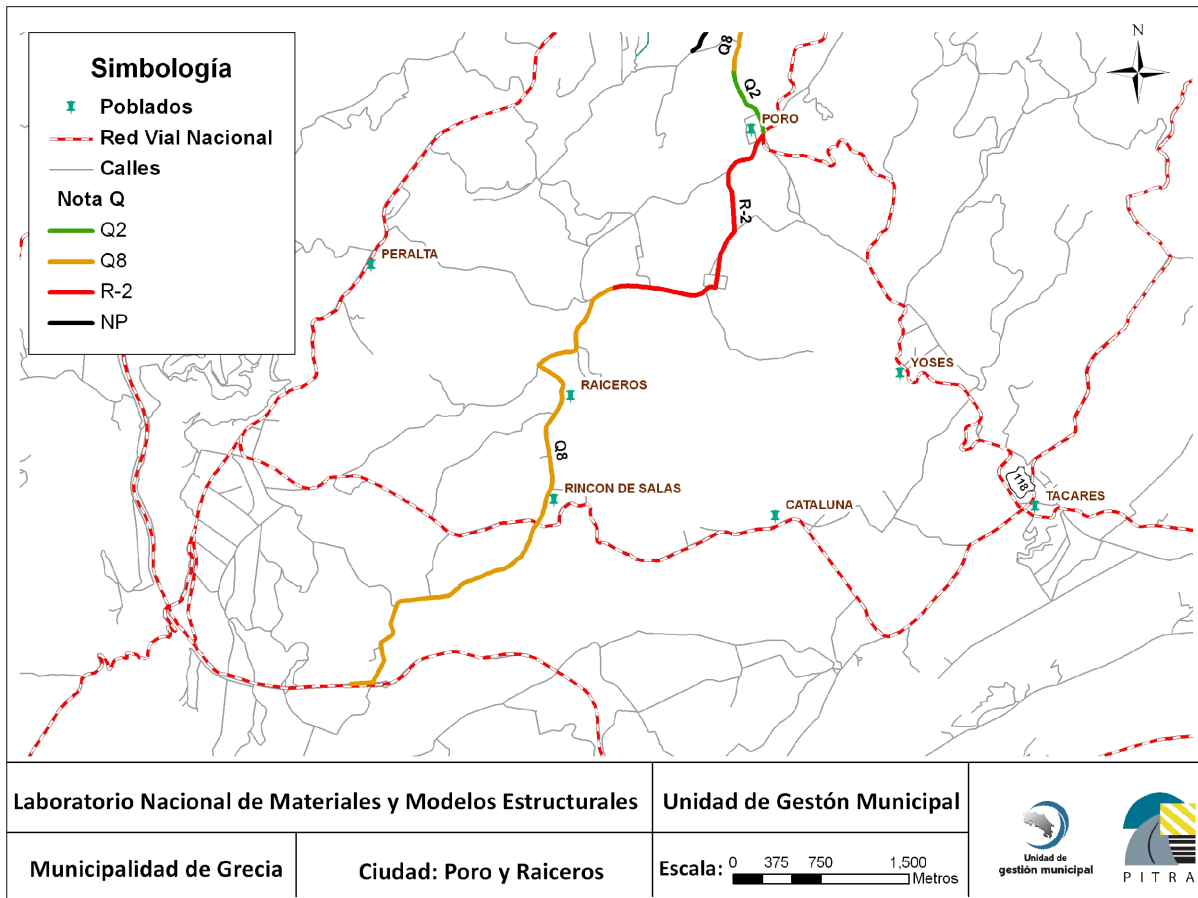


Figura 53. Notas de Calidad para los diferentes tramos homogéneos analizados en la localidad de Grecia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la figura 54 puede observarse la distribución porcentual de las diferentes notas de calidad asignadas.

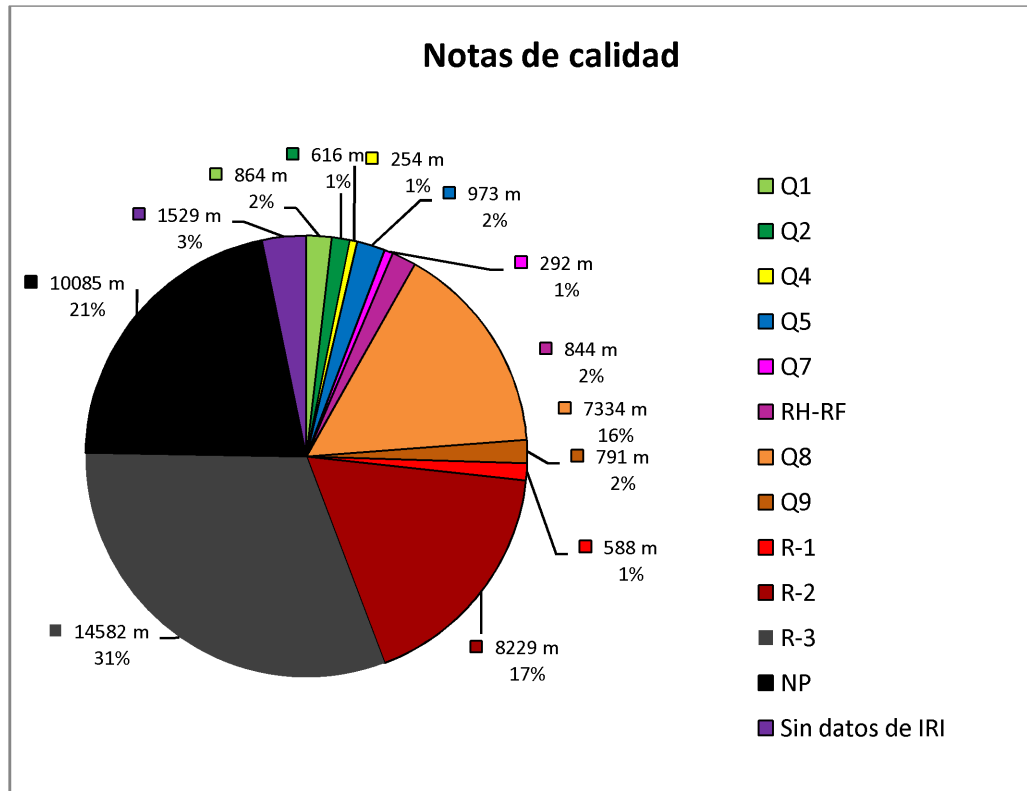


Figura 54. Distribución de las diferentes notas de calidad asignadas.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

3.3 Tipos de intervención

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

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



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

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

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

recomienda un perfilado y la colocación de una nueva sobrecarpeta que responda a un diseño estructural que considere la capacidad estructural remanente de la sección existente para un período de diseño determinado.

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

En la figura 31 se muestra de manera sencilla la categorización de cada nota de calidad según el tipo de intervención que se recomienda a nivel de red. Es necesario hacer la diferencia entre el tipo de intervención identificada con color naranja y rojo, ya que a pesar de que ambos tipos de intervenciones se refieren a una rehabilitación mayor, las notas de calidad representadas con el color rojo requieren que la intervención se realice de forma inmediata, ya que de no ser así estos tenderán a deteriorarse rápidamente siendo requerida una reconstrucción del pavimento.

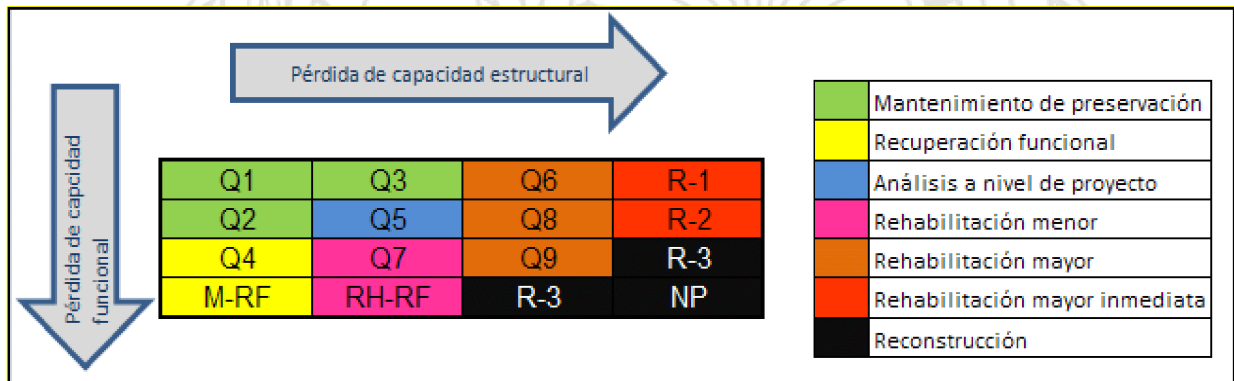


Figura 31. Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la tabla 9 puede observarse el tipo de intervención (a nivel de red) propuesto para cada tramo homogéneo en la localidad de Grecia, con base en las mediciones y evaluaciones realizadas en el 2010 y 2011 por el personal del LanammeUCR y la UTGV de Grecia.

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

Id	Longitud (m)	Nota de calidad	Tipo de Intervención
1	745	RH-RF	Rehabilitación menor
2	142	NP	Reconstrucción
3	1069	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
4	290	R-3	Reconstrucción
5	616	Q2	Mantenimiento de preservación
6	592	Q8	Rehabilitación mayor
7	289	NP	Reconstrucción
8	484	NP	Reconstrucción
9	257	NP	Reconstrucción
10	225	R-3	Reconstrucción
11	254	Q4	Recuperación funcional
12	577	Q9	Rehabilitación mayor
13	214	Q9	Rehabilitación mayor
14	219	R-3	Reconstrucción
15	400	R-3	Reconstrucción
16	95	NP	Reconstrucción
17	323	R-3	Reconstrucción
18	782	R-3	Reconstrucción
20	672	NP	Reconstrucción
21	193	R-3	Reconstrucción
22	178	-	-
23	220	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
24	96	R-3	Reconstrucción
25	97	R-3	Reconstrucción
26	235	NP	Reconstrucción
27	97	-	-
28	390	Q5	Análisis a nivel del proyecto
29	377	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
30	292	Q7	Rehabilitación menor
31	291	R-3	Reconstrucción
32	294	NP	Reconstrucción
33	733	NP	Reconstrucción
34	533	R-3	Reconstrucción
35	289	-	-
36	286	NP	Reconstrucción



Id	Longitud (m)	Nota de calidad	Tipo de Intervención
38	213	R-3	Reconstrucción
39	497	NP	Reconstrucción
40	152	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
41	445	R-3	Reconstrucción
42	316	R-3	Reconstrucción
43	182	-	-
44	169	-	-
45	225	NP	Reconstrucción
46	950	NP	Reconstrucción
47	736	NP	Reconstrucción
49	271	-	-
50	99	RH-RF	Rehabilitación menor
51	93	R-3	Reconstrucción
52	276	NP	Reconstrucción
53	583	Q5	Análisis a nivel del proyecto
56	390	NP	Reconstrucción
57	251	-	-
58	290	NP	Reconstrucción
59	389	R-3	Reconstrucción
60	150	R-3	Reconstrucción
61	923	NP	Reconstrucción
62	649	NP	Reconstrucción
64	864	Q1	Mantenimiento de preservación
65	588	R-1	Rehabilitación mayor inmediata
66	478	NP	Reconstrucción
67	91	-	-
68	105	R-3	Reconstrucción
69	218	NP	Reconstrucción
70	205	NP	Reconstrucción
71	759	NP	Reconstrucción
72	644	R-3	Reconstrucción
73	3879	R-3	Reconstrucción
75	1856	R-3	Reconstrucción
76	907	Q8	Rehabilitación mayor
77	379	Q8	Rehabilitación mayor
79	1422	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
80	438	Q8	Rehabilitación mayor
81	449	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
82	2945	R-3	Reconstrucción
84	454	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
85	1700	R-2	Rehabilitación mayor inmediata
86	5018	Q8	Rehabilitación mayor
87	2386	R-2	Rehabilitación mayor inmediata

Id	Longitud (m)	Nota de calidad	Tipo de Intervención
88	98	R-3	Reconstrucción

*Los espacios con (-) no poseen nota de calidad ni tipo de intervención porque no se tienen mediciones del IRI.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Es importante hacer énfasis en que estos resultados son válidos al momento de la evaluación, por lo tanto para planificar las diferentes intervenciones es importante hacer una revisión de los datos con un mayor nivel de detalle y contrastar esos resultados con lo observado en sitio al momento de los trabajos.

En la siguiente figura puede observarse la distribución porcentual de los tipos de intervención requeridos según la cantidad de kilómetros analizados (aproximadamente 47 km), es de apreciar que un 3% (aproximadamente 1,5 km) de la longitud evaluada posee una buena condición estructural y funcional, un 2% necesita una valoración a nivel de proyecto que permita determinar la condición actual del pavimento ya que se encuentra en una condición intermedia en cuanto a condición estructural y funcional.

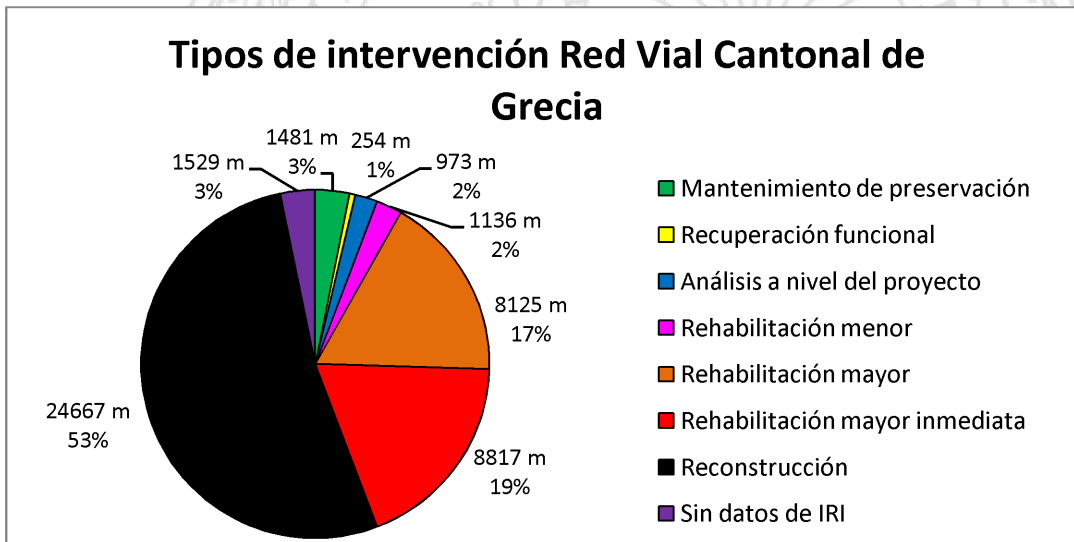


Figura 55. Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de Grecia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Un 36% de la longitud evaluada (17 km) es candidata para trabajos relacionados con una rehabilitación mayor, ya que la capacidad estructural ha disminuido considerablemente; un

1% necesita una recuperación funcional que permita mejorar el IRI del pavimento, ya que este se encuentra con una buena condición estructural pero existen daños en la superficie de ruedo. De los tramos evaluados tres son candidatos para una rehabilitación menor (1,14 km), mientras que 46 tramos (24,7 km) necesitan una reconstrucción parcial o total del pavimento ya que este ha llegado al final de su vida útil y presenta daños severos.

En las figuras 56, 57, 58 se observa de manera gráfica el tipo de intervención propuesta para cada uno de los tramos homogéneos, según el estado estructural y las mediciones del IRI; cabe señalar que algunos tramos fueron ajustados a la longitud de los cuadrantes, ya que a nivel operativo simplifica el proceso de construcción.

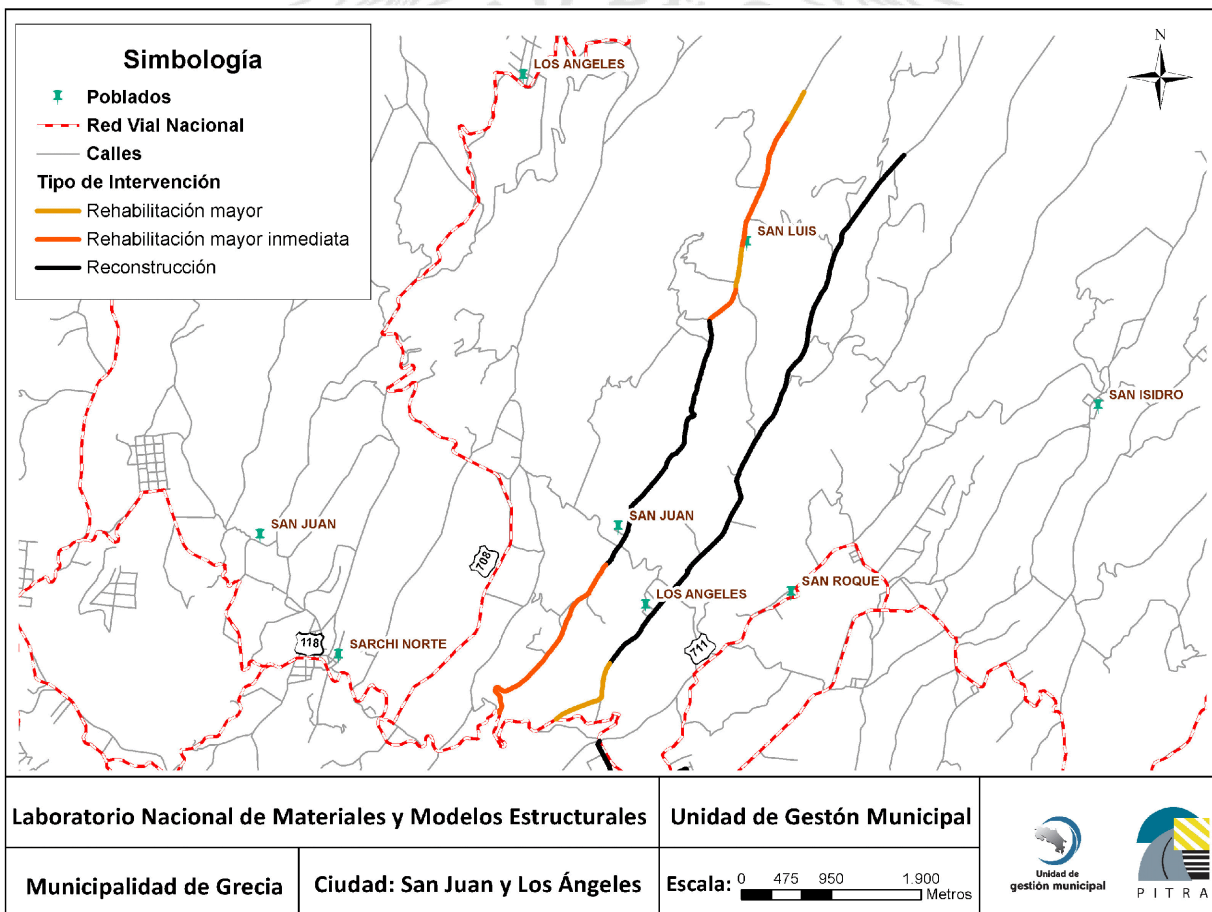


Figura 56. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo según la condición actual.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

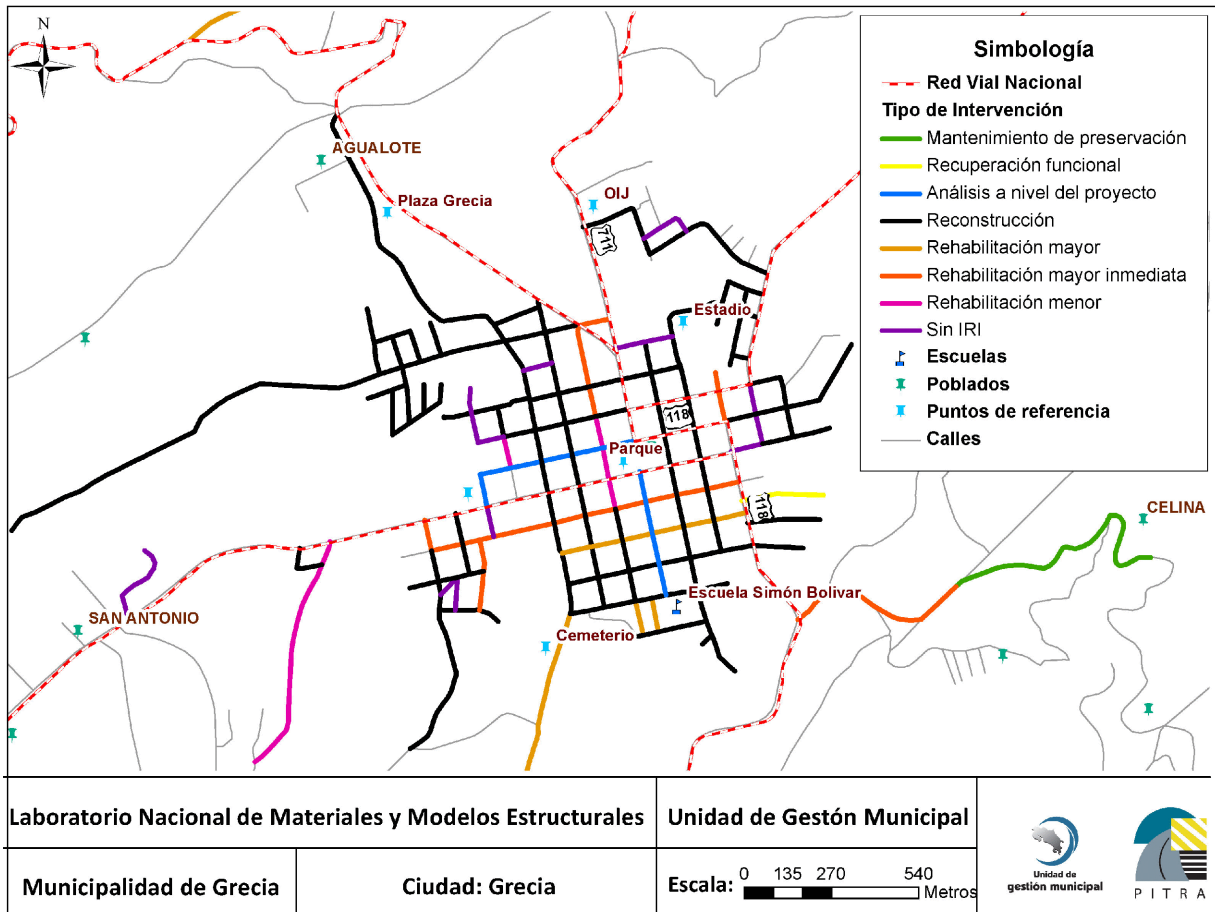


Figura 57. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo según la condición actual.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

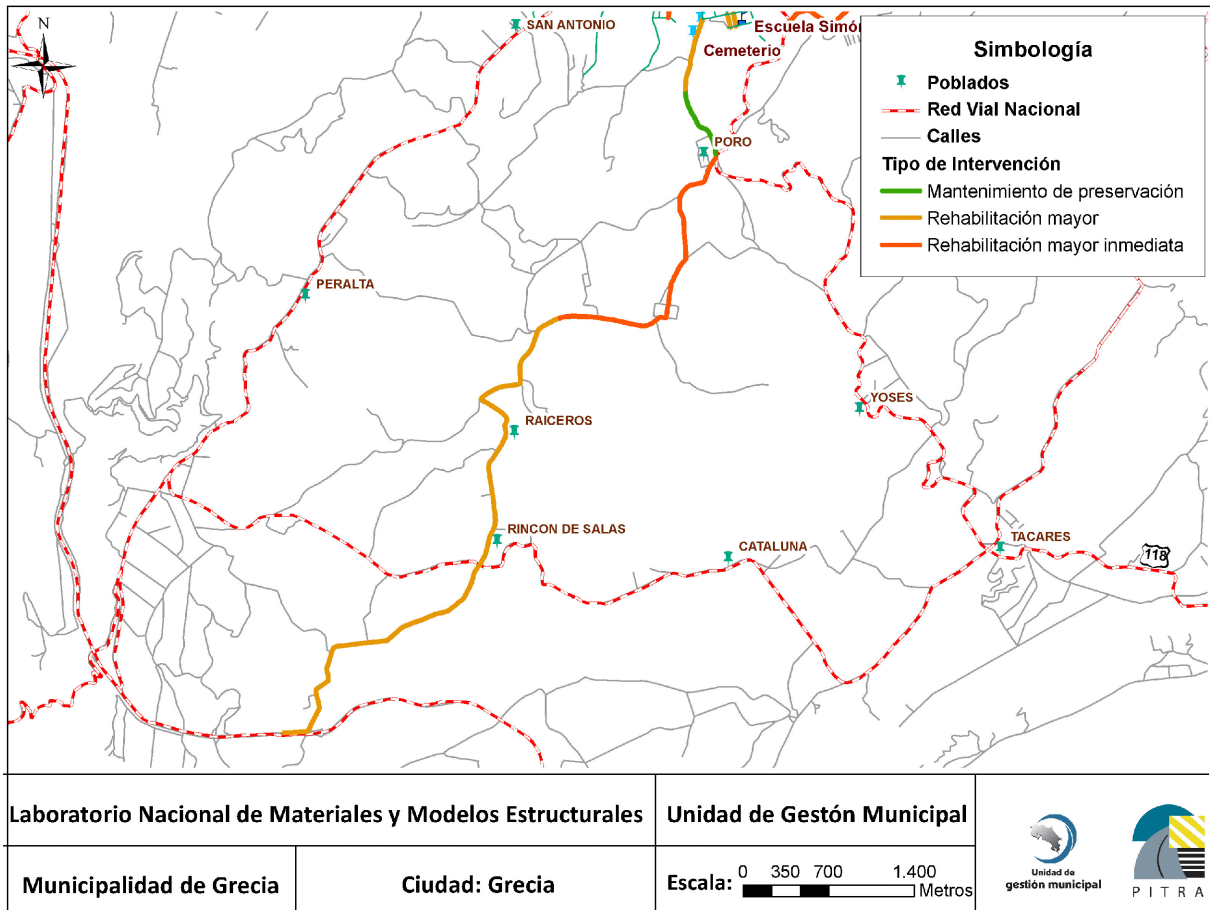


Figura 58. Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo según la condición actual.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

3.4 Diseño y Costos de los Tratamientos

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

- Mantenimiento de preservación.
- Recuperación de funcional (IRI).
- Análisis a nivel de proyecto.



- Rehabilitación menor.
- Rehabilitación mayor.
- Reconstrucción.

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

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

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

3.5 Escenarios de inversión

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

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

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

La condición estructural en los tramos homogéneos de las vías analizadas durante los años 2010-2011 presenta deficiencias importantes. Un 92% del total de mediciones analizadas en Grecia, correspondiente a 43 km de los 47 km evaluados, posee deflexiones altas, lo que implica que la estructura del pavimento no posee la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas a la que se encuentra expuesta. Por otra parte, es importante destacar que aproximadamente 1,7 km de las rutas evaluadas posee una buena capacidad estructural.

En cuanto al estado funcional de la red, se tiene que, cerca del 26% de la red evaluada posee un IRI superior a 10 m/km, lo que implica una irregularidad superficial alta, esto provoca costos de operación (desgaste de llantas, combustible, etc.) elevados para los usuarios y mayores tiempos de viaje, además de que la irregularidad en una superficie



provoca un desgaste acelerado en la estructura al generarse un impacto dinámico de las llantas de los vehículos sobre la superficie asfáltica.

Se generaron 79 tramos homogéneos para la localidad de Grecia, los cuales tienen como objetivo definir unidades discretas para facilitar la gestión municipal en cuanto al mantenimiento y mejoramiento de la red. Cada uno de los tramos requiere de un tipo de intervención particular a lo largo de toda su longitud.

Entre los resultados más relevantes del análisis de la red vial cantonal de Grecia, se obtiene que más de la mitad de la longitud evaluada requiere algún tipo de refuerzo estructural, lo que implica un aumento en la capacidad estructural, que proporcione el soporte requerido para resistir las cargas de tránsito con un nivel de servicio aceptable. De las rutas evaluadas cerca de 25 km requieren algún tipo de reconstrucción, lo cual implica intervenir parte o todas las capas granulares de la estructura. Por otro lado, únicamente 1,5 km evaluados poseen la condición funcional y estructural para realizar labores de mantenimiento correctivo o preventivo.

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

Las recomendaciones de intervención se establecen basadas en la condición actuales del pavimento, en el momento de ejecutar los ensayos de laboratorio y campo (año 2010-2011). Además, estas recomendaciones se proponen como soluciones óptimas generales a cada tramo homogéneo, es decir, si un tramo homogéneo requiere reconstrucción y se aplica un bacheo o una rehabilitación se solucionará el problema temporalmente, sin embargo, a corto o mediano plazo presentará deficiencias, por lo que no se estarían optimizando los recursos disponibles.



4.2 Recomendaciones

Se recomienda al municipio generar un plan de inversiones a mediano plazo, plan quinquenal, en donde se definan los tramos homogéneos que se intervendrán cada año, el cual se base en el presupuesto disponible, los tipos de intervención sugeridos y los costos de ejecución del municipio. Así mismo, se recomienda intervenir tramos que se encuentren dentro de la categoría de rehabilitación mayor, para evitar tener que hacer mayores intervenciones a un corto plazo, ya que tramos con esta condición se deterioran con rapidez, pasando a notas de calidad R2-R3, donde lo que se requeriría es una reconstrucción y por lo tanto inversiones mayores, de igual forma deberían tener prioridad los tramos en la condición de preservación, para prolongar la vida útil de los mismos y maximizar la inversión realizada.

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

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

-----UL-----



5 REFERENCIAS

- Autret P, Brousse J. (1996). VIZIR Método con ayuda de computador para la estimación de necesidades en el mantenimiento de una red carretera; Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
- 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.





Anexos

