



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-07-12

**EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL
DE SAN MATEO:
DIAGNÓSTICO RED VIAL CANTONAL**

Preparado por:

**Unidad de Gestión Municipal
PITRA-LanammeUCR**

San José, Costa Rica
Mayo, 2012

Información técnica del documento




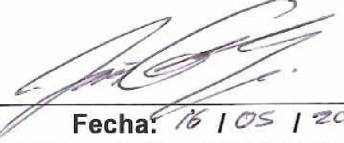
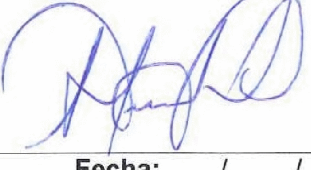

1. Informe LM-PI-UM-07-12		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN MATEO: DIAGNÓSTICO RED VIAL CANTONAL.		4. Fecha del Informe: Mayo, 2012
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <i>El estudio realizado en las principales rutas de la red vial cantonal pavimentada de San Mateo durante el año 2011, contempla el diagnóstico de la red vial. En el presente informe se detalla la evaluación de aproximadamente 10 km, la evaluación incluye diferentes parámetros como: deflectometría, IRI (Índice de Regularidad Internacional), conteos vehiculares y sondeos a cielo abierto. Las deflexiones en la RVC muestran que cerca de un 58% de las mediciones realizadas corresponden a una condición estructural buena, un 27% de las mediciones corresponde a una condición de daño estructural importante. En cuanto a las mediciones de IRI se determinó que un 66% de estas corresponden a una condición de confort regular, un 29% corresponde a una condición mala o muy mala (IRI mayor a 6,4 m/km) y un 5% corresponde una condición buena (IRI menor a 3,6 m/km).</i>		
10. Palabras clave Evaluación de Carreteras, Gestión, Red vial Cantonal, San Mateo, Diagnóstico	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 49
13. Preparado por: Sr. Eliécer Arias Barrantes  Fecha: 16 / 05 / 2012.	14. Revisado por: Lic. Carlos Campos Cruz, MBA  Fecha: 16 / 5 / 12.	15. Revisado por: Ing. Sharline López Ramírez  Fecha: 16 / 05 / 2012
16. Revisado por: Ing. Jaime Allen Monge, MSc Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 16 / 05 / 2012	17. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Lanamme UCR  Fecha: / /	18. Aprobado por: Ing. Guillermo Loria Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 17 / 05 / 2012



TABLA DE CONTENIDO

1	ANTECEDENTES	6
1.1	ASESORÍA TÉCNICA	6
1.2	CAPACITACIÓN	7
1.3	VENTA DE SERVICIOS.....	7
1.4	RECURSOS FINANCIEROS.....	7
1.5	LEY 8114: REGLAMENTO SOBRE EL MANEJO, NORMALIZACIÓN Y RESPONSABILIDAD PARA LA INVERSIÓN PÚBLICA EN LA RED VIAL CANTONAL.....	7
2	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL	8
2.1	IMPORTANCIA	8
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP)	9
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL.....	11
3	DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN MATEO	12
3.1	OBJETIVO	12
3.2	ACTIVIDADES	12
3.2.1	<i>CLASIFICACIÓN DE LA RVC</i>	13
3.2.2	<i>TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD)</i>	13
3.2.3	<i>EVALUAR CONDICIÓN FUNCIONAL</i>	17
3.2.4	<i>EVALUAR CONDICIÓN ESTRUCTURAL</i>	23
3.2.5	<i>CARACTERIZAR LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</i>	29
3.2.6	<i>DEFINIR TRAMOS HOMOGÉNEOS</i>	45
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5	REFERENCIAS	48

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO SEGÚN LOS SONDEOS REALIZADOS.....	32
CUADRO 2. CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO DE LA SUB-RASANTE, EN LOS SONDEOS REALIZADOS.....	41
CUADRO 3. CLASIFICACIÓN DEL CBR.....	42
CUADRO 4. ÍNDICE DE RESISTENCIA CBR.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS.	10
FIGURA 2. ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL.	12
FIGURA 3. CABLES Y CONTADORES AUTOMÁTICOS EN SITIO.	15
FIGURA 4. CONFIGURACIÓN DE LOS CONTADORES.	15
FIGURA 5. VOLUMEN VEHICULAR DIARIO LOCALIDAD DE SAN MATEO.	16
FIGURA 6. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN LA LOCALIDAD DE SAN MATEO.	17
FIGURA 7. REPRESENTACIÓN FÍSICA DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL.	18
FIGURA 8. PERFILÓMETRO INERCIAL LÁSER.	19
FIGURA 9. CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS.	20
FIGURA 10. CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS.	21
FIGURA 11. CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS.	22
FIGURA 12. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN SEGÚN EL IRI.	23
FIGURA 13. EQUIPO DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO.	24
FIGURA 14. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD INFERIOR A 5000, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.	25
FIGURA 15. CONDICIÓN DEL FWD PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN MAYO DEL 2011.	26

FIGURA 16. CONDICIÓN DEL FWD PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN MAYO DEL 2011.....	27
FIGURA 17. CONDICIÓN DEL FWD PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN MAYO DEL 2011.....	28
FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN SEGÚN FWD PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS.....	29
FIGURA 19. EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	29
FIGURA 20. UBICACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS EN LA LOCALIDAD DE SAN MATEO.....	30
FIGURA 21. UBICACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS EN LA LOCALIDAD DE LABRADOR.....	31
FIGURA 22. TIPO DE SUELO SEGÚN LA CLASIFICACIÓN SUCS EN LA LOCALIDAD DE SAN MATEO.....	34
FIGURA 23. TIPO DE SUELO SEGÚN LA CLASIFICACIÓN SUCS EN LA LOCALIDAD DE LABRADOR.....	35
FIGURA 24. TIPOS DE SUELO SEGÚN LA CLASIFICACIÓN AASTHO EN LA LOCALIDAD DE SAN MATEO.....	39
FIGURA 25. TIPOS DE SUELO SEGÚN LA CLASIFICACIÓN AASTHO EN LA LOCALIDAD DE LABRADOR.....	40
FIGURA 26. PRUEBA DE CBR EN SITIO.....	41
FIGURA 27. CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES, LOCALIDAD SAN MATEO.....	43
FIGURA 28. CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES, LOCALIDAD DE LABRADOR.....	44



1 ANTECEDENTES

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

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

La Municipalidad de San Mateo 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 San Mateo 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 San Mateo.
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.

Informe LM-PI-GM-07-12	Fecha de emisión: Mayo de 2012	Página 6 de 49
------------------------	--------------------------------	----------------



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 Venta de servicios

LanammeUCR realizará 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 San Mateo.

1.4 Recursos financieros

La Municipalidad asignará un monto específico de recursos monetarios para realizar ensayos de laboratorio y campo, necesarios para generar un diagnóstico técnico del estado de la red en estudio.

Para desarrollar las actividades específicas de Asesoría Técnica, Capacitación y Venta de Servicios, 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 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 laborar 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, es necesario 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 San Mateo, 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.

Cabe destacar que 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.

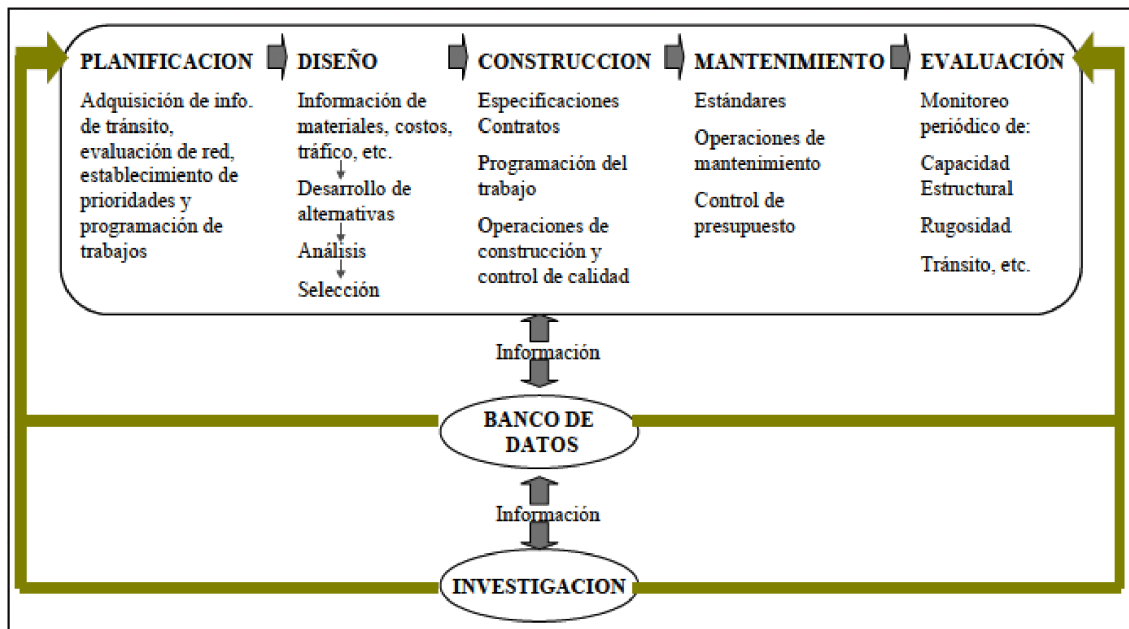


Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos.

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 mantención con el fin de poder hacer una apropiada gestión de pavimentos.

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

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

2.3 Proceso de Gestión de Infraestructura Vial Municipal

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

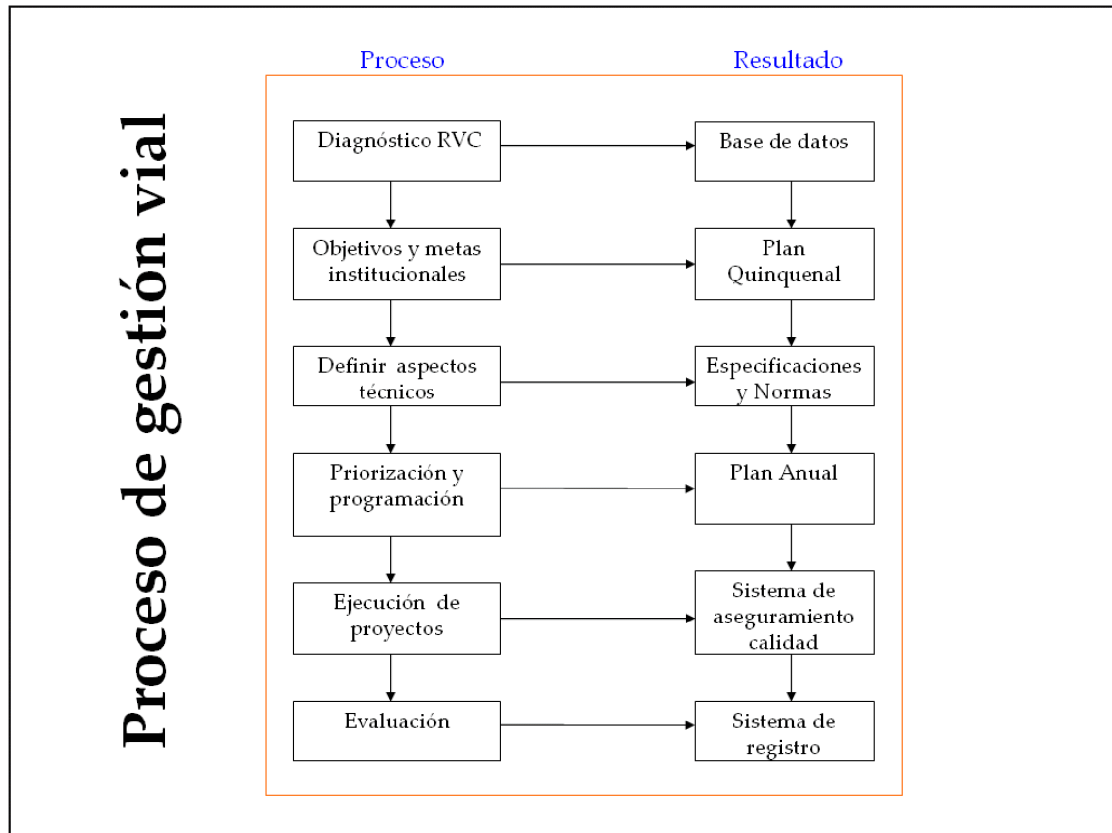


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN MATEO

3.1 Objetivo

Realizar una evaluación de la RVC de San Mateo, para obtener una base de datos con diferentes características técnicas de la infraestructura vial de la red, que sirva de insumo para desarrollar un plan quinquenal de conservación en la RVC de San Mateo.

3.2 Actividades

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



1. Clasificación de la red vial cantonal (RVC).
2. Determinar tránsito (TPD) y clasificación vehicular.
3. Identificar condición funcional.
4. Identificar condición estructural.
5. Caracterizar la estructura del pavimento.
6. Definir tramos homogéneos.

3.2.1 Clasificación de la RVC

Se evalúa el uso y operación de la RVC y se categorizan las rutas según su función e importancia. Las vías se dividen en las siguientes categorías:

- RVN: Rutas nacionales (Red Vial Nacional).
- Rutas de travesía: Unen dos secciones de RVN.
- RVC primaria: Brindan movilidad dentro de la ciudad.
- RVC secundaria: Colectoras, conectan vías primarias y terciarias.
- RVC terciaria: Brindan acceso a propiedades y casas.

La clasificación se determina con la experiencia de la Unidad Técnica de Gestión Vial (UTGV) de la Municipalidad y la asesoría que ofrece el Lanamme acerca del tema. Para este estudio no se cuenta con una jerarquización de rutas, por lo tanto para realizar el análisis se asume que todas las rutas poseen el mismo nivel jerárquico. Es importante que los miembros de UTVG realicen una revisión de la condición funcional de la RVC, para así poder separar las diferentes rutas por nivel jerárquico en función del tránsito vehicular y la importancia dentro de la RVC de San Mateo.

3.2.2 Tránsito promedio diario (TPD)

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 el refuerzo o mantenimiento oportuno. Por ésta razón se recomienda medir el tránsito al menos cada año en puntos estratégicos de la red para conocer la tasa de crecimiento anual de la red en estudio, lo que es una herramienta fundamental para una adecuada gestión vial.

Para determinar el TPD se realizaron nueve conteos vehiculares en el casco central de San Mateo. El propósito de los conteos de tránsito es conocer la cantidad y tipos de vehículos que transitan por la RVC. La UTGV de la Municipalidad de San Mateo 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 San Mateo 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 periodos de tránsito normal, nunca en vacaciones o feriados.
- Deben realizarse en días laborales (lunes a viernes). Preferiblemente martes, miércoles o jueves para evitar el efecto fin de semana.
- Realizar conteos de 25 horas, para tomar en cuenta ambos periodos de hora pico en los conteos, y facilitar el análisis para cálculos del TPDA (Tránsito promedio diaria anual).
- Escoger los sitios de mayor flujo vehicular de la calle o tramo a evaluar.

Se presentan dos figuras de los contadores automáticos colocados en las vías, y las configuraciones recomendadas en campo para la clasificación vehicular.

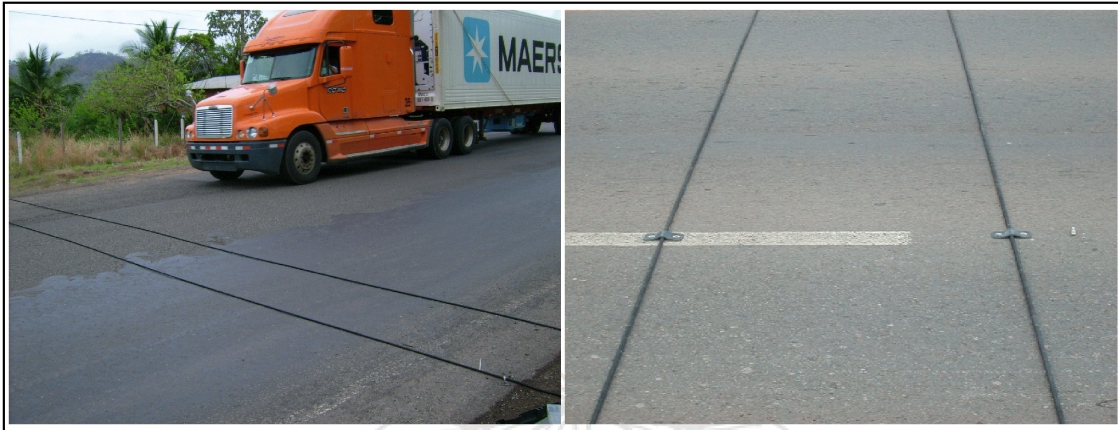


Figura 3. Cables y contadores automáticos en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

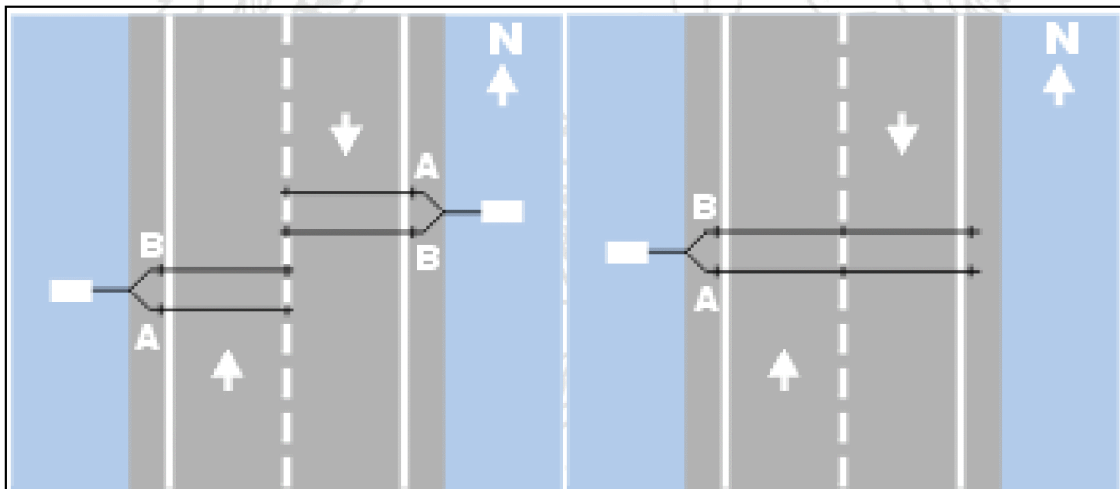


Figura 4. Configuración de los contadores.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El esquema de la izquierda en la Figura 4 muestra la configuración ideal, el de la derecha muestra una configuración más simple pero que resulta en pérdida de precisión.

En la siguiente figura se presentan los sitios donde se realizaron los conteos en la localidad San Mateo. Para los conteos realizados el flujo vehicular registrado es inferior a los 1000 vehículos por día.

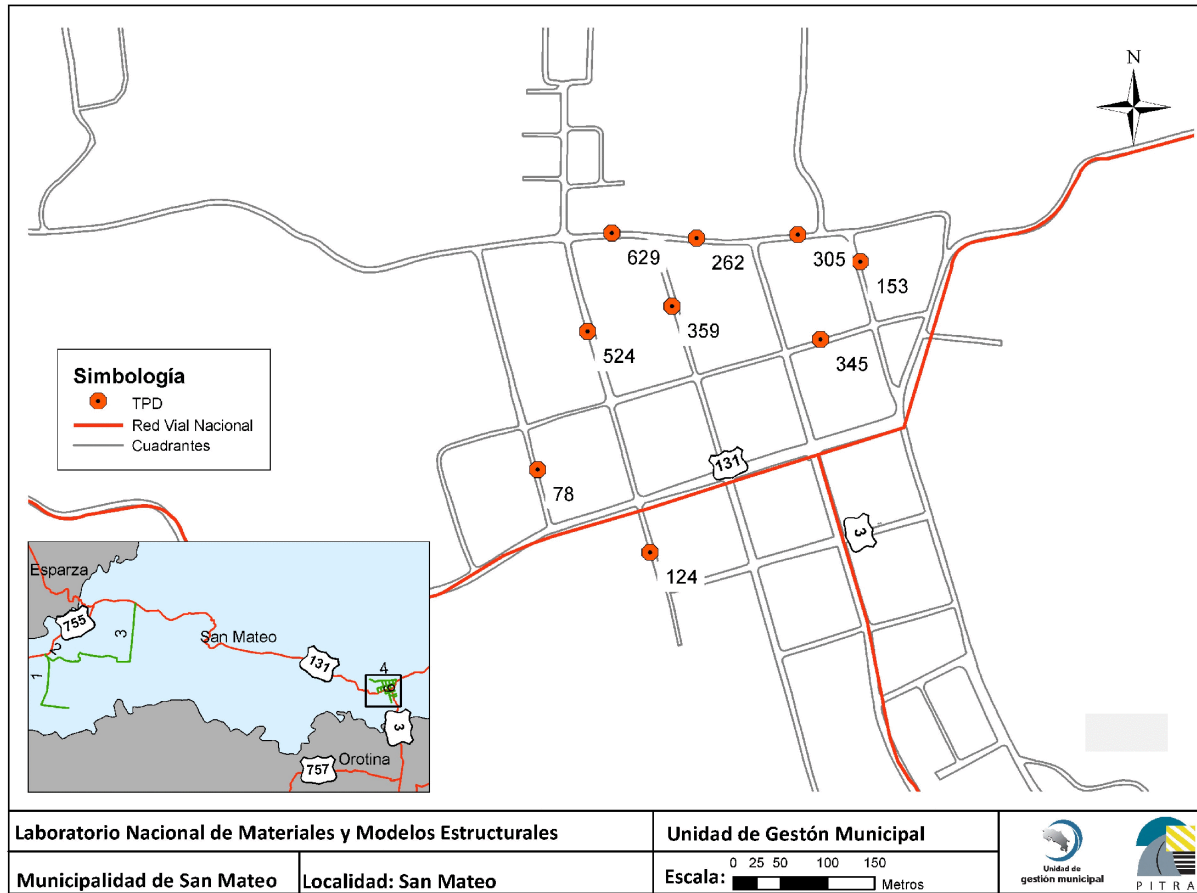


Figura 5. Volumen vehicular diario localidad de San Mateo.

Fuente: LanammeUCR, 2012 (Información recopilada por UTGV San Mateo).

Además de la cantidad de vehículos que circulan diariamente en las vías, es importante conocer la cantidad de vehículos pesados, pues este tipo de vehículos ejercen un mayor desgaste del pavimento, con respecto a los vehículos livianos. Los porcentajes de vehículos pesados pueden observarse en la siguiente figura, donde el porcentaje de pesados va desde el 2,3% hasta valores altos como 8,8% y 15,4%, aunque cabe señalar que el flujo vehicular es muy bajo.

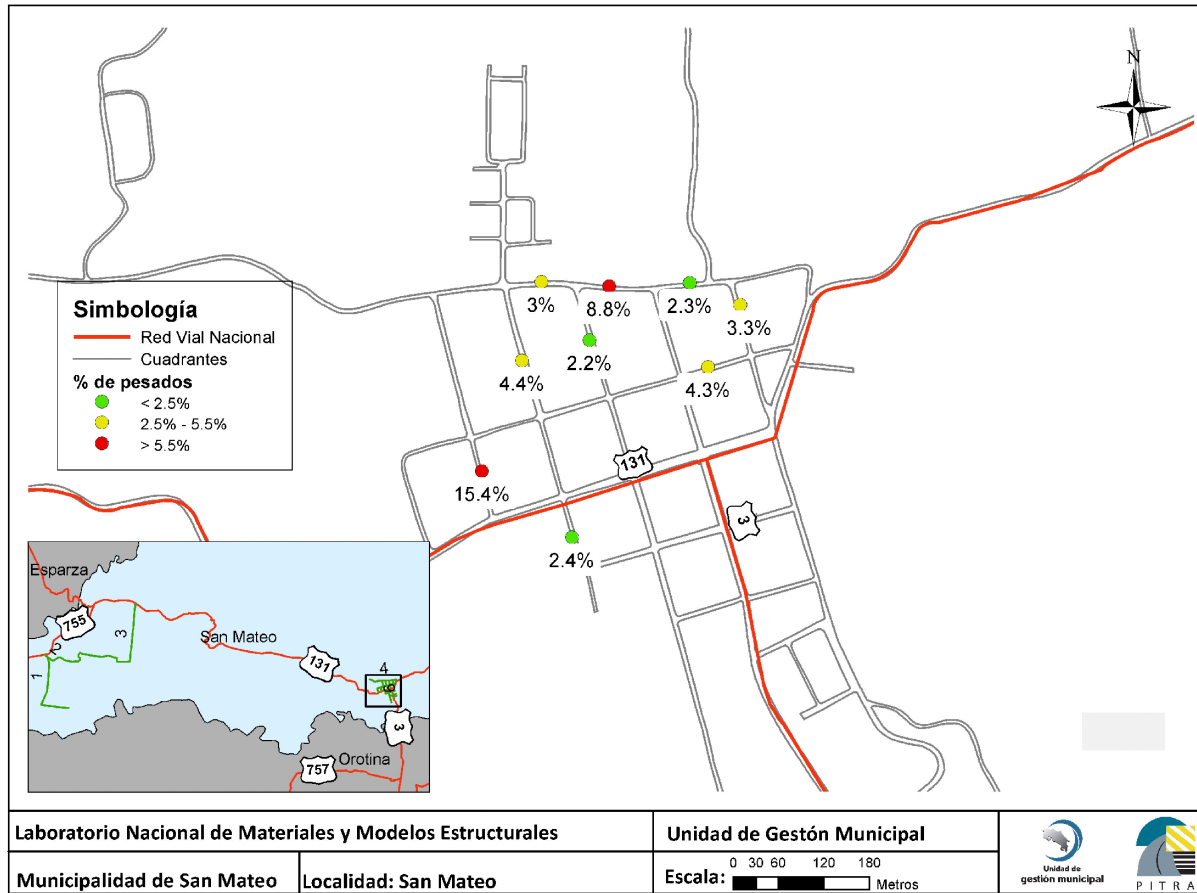


Figura 6. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de San Mateo.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

3.2.3 Evaluar condición funcional

La condición funcional se refiere a la capacidad de la vía para cumplir la función de proporcionar servicio a los usuarios, con respecto a funcionalidad, se puede evaluar de diferentes maneras, a continuación se presentan 3 de ellas.

1. Deterioro Superficial (VIZIR).
2. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).
3. PCI (Manual de Auscultación Visual).

En este estudio solo se realizó una evaluación de la condición superficial mediante la variable de IRI, pero esta da una visión amplia del estado funcional para realizar una evaluación a nivel de red.

3.2.3.1 Índice de Rugosidad 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 7.

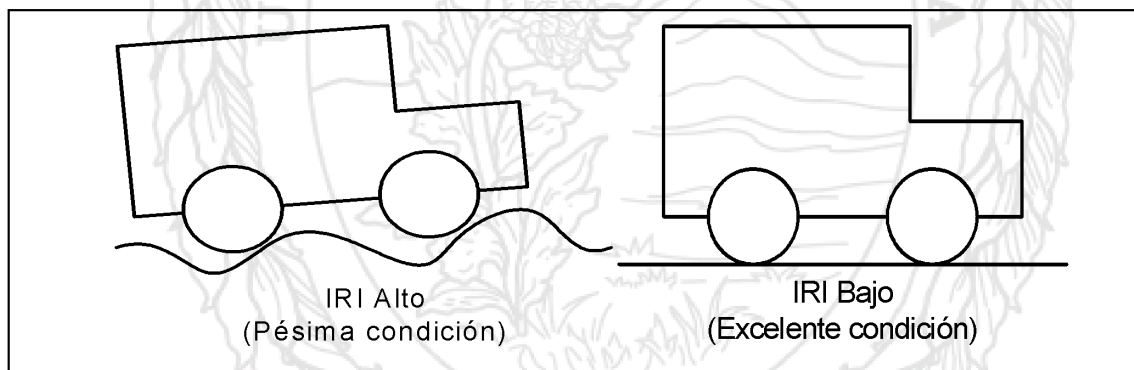


Figura 7. Representación física del Índice de Rugosidad Superficial.

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.

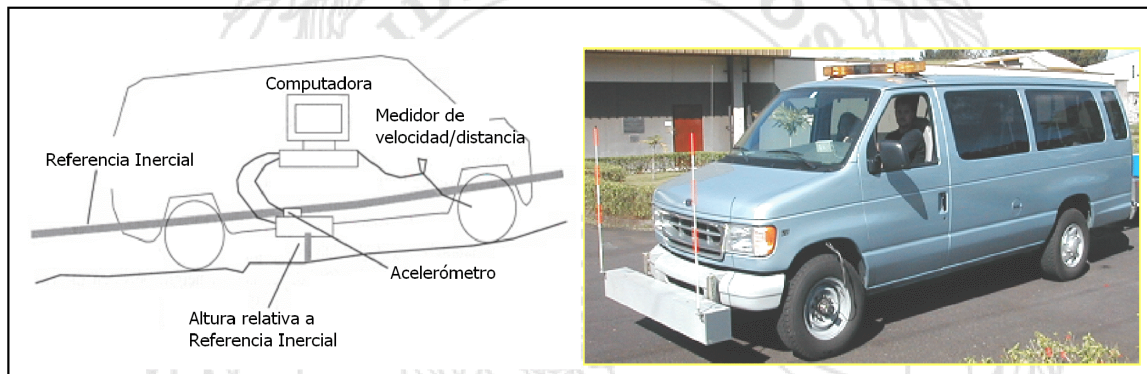


Figura 8. Perfilómetro Inercial Láser.

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 abril del 2011 abarcando todas las rutas contempladas en el convenio, sobre una longitud aproximada de 10 km, en las siguientes figuras se muestran estas mediciones. 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.

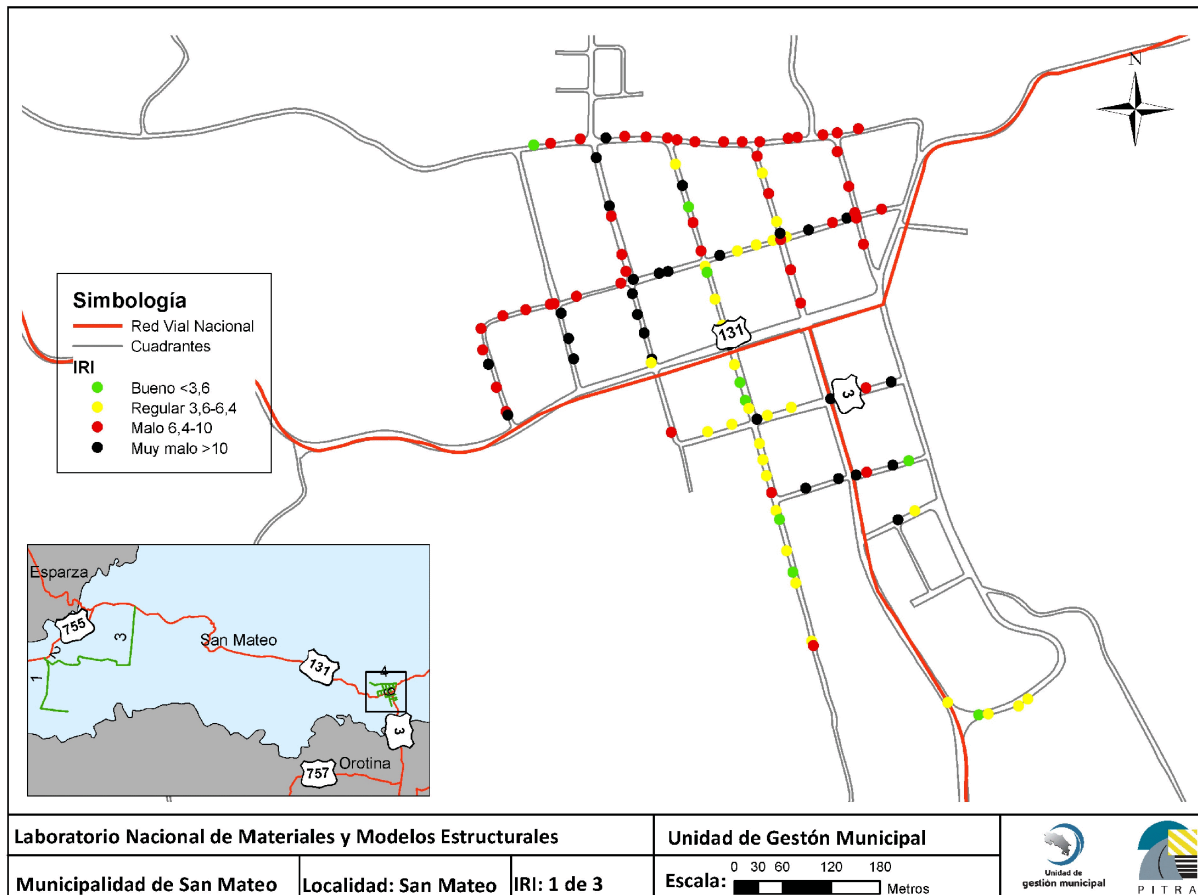


Figura 9. Condición del IRI para las mediciones realizadas.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

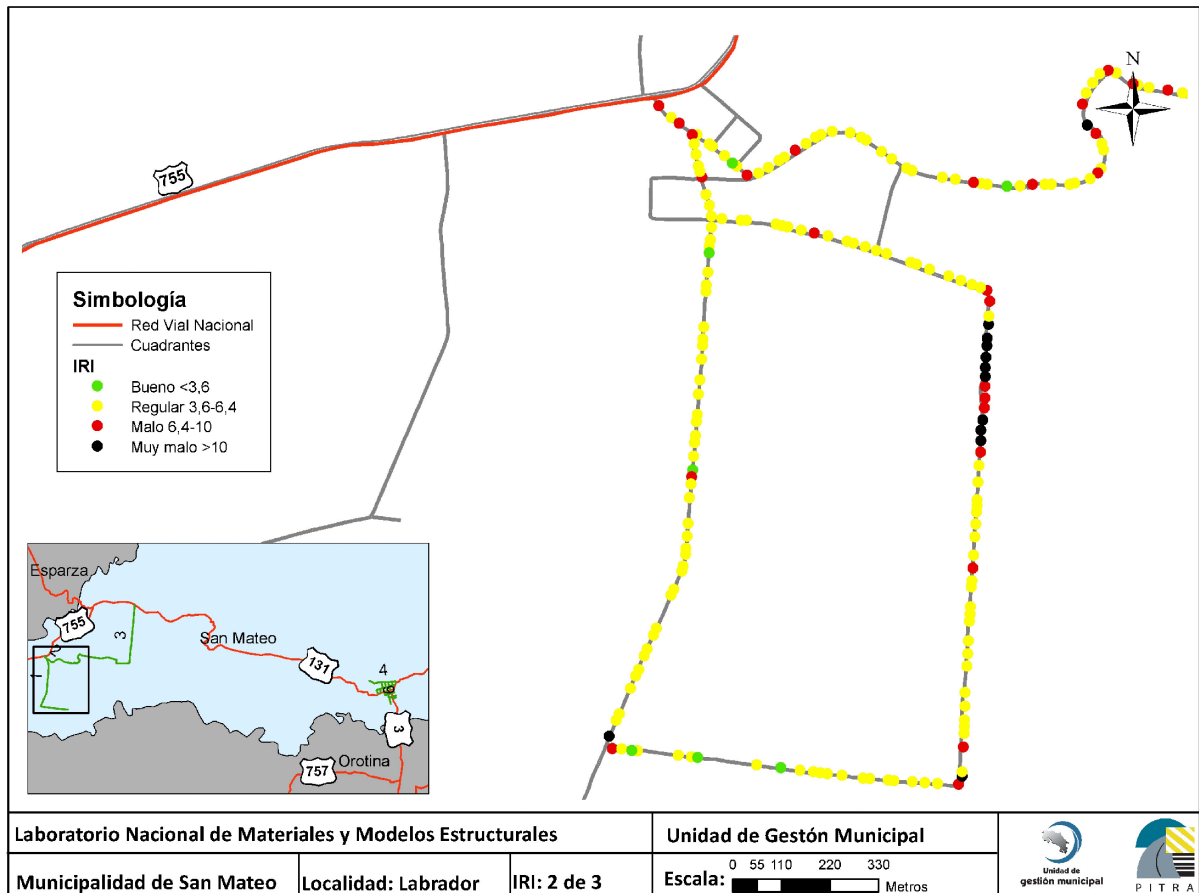


Figura 10. Condición del IRI para las mediciones realizadas.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

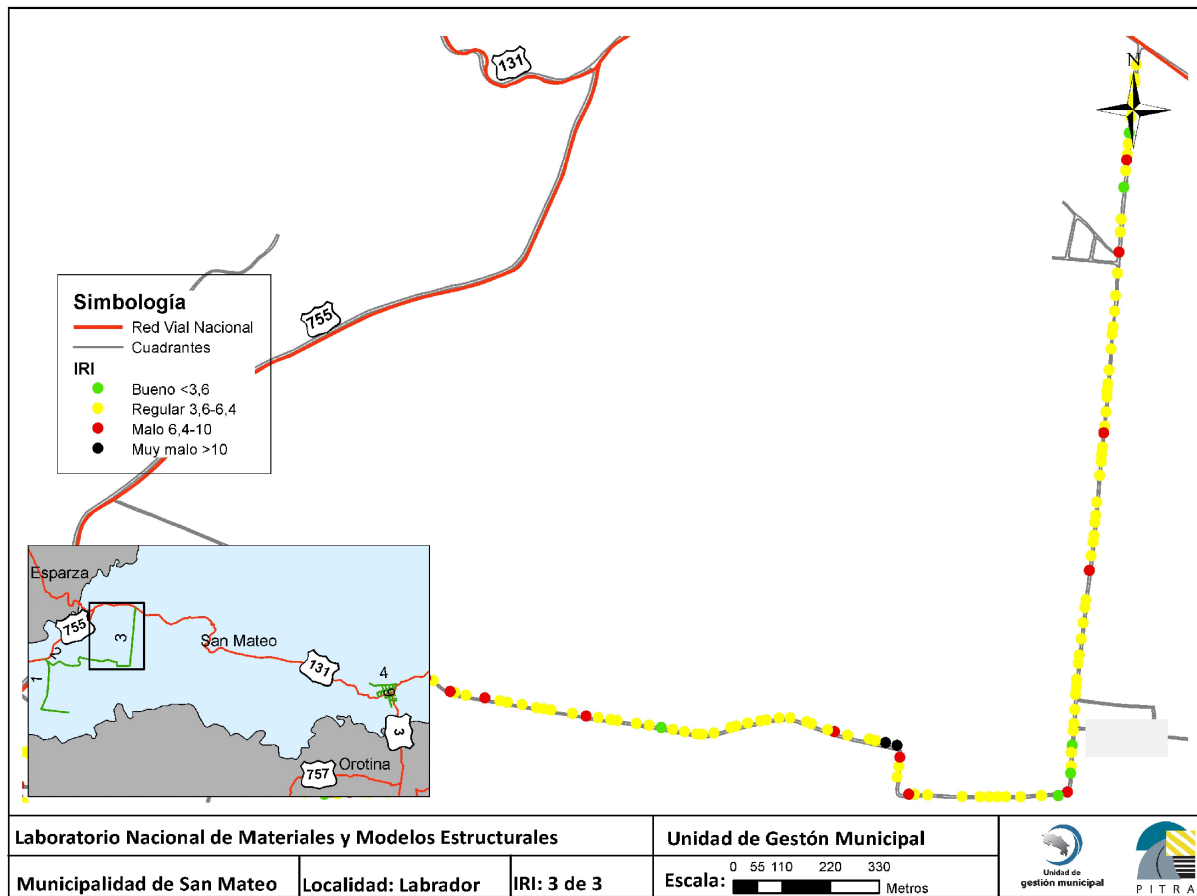


Figura 11. Condición del IRI para las mediciones realizadas.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la Figura 12 se observan los porcentajes asociados a cada condición, según las mediciones de IRI en la localidad de San Mateo. En las mediciones realizadas cerca del 27% presenta valores de IRI superior a 6,4 m/km, lo cual indica que es una superficie de ruedo con bajo nivel de confort y con altos gastos de operación para los vehículos que la transitan. Además, únicamente un 5% de las mediciones realizadas se pueden clasificar en condiciones buenas de regularidad superficial (menores a 3,6 m/km) mientras que un 66% de las mediciones corresponden a una condición regular. Cabe mencionar que las condiciones más deficientes de regularidad superficial se encuentran en los cuadrantes centrales de San Mateo (ver Figura 9).

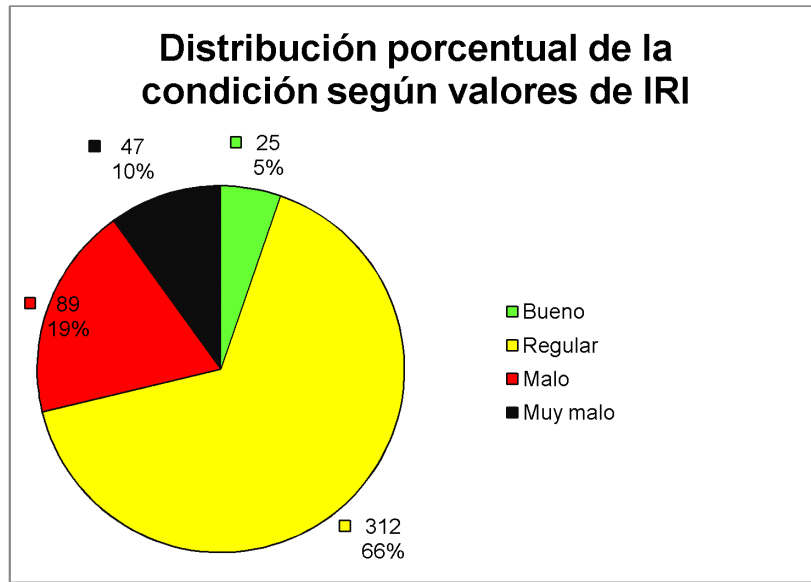


Figura 12. Distribución porcentual de la condición según el IRI.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

3.2.4 *Evaluar 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 ante las cargas.

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 Mayo 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 con respecto al punto donde se aplicó la carga. A continuación se muestran dos imágenes con el equipo de medición y el modo en que se registran las deflexiones que se registran.

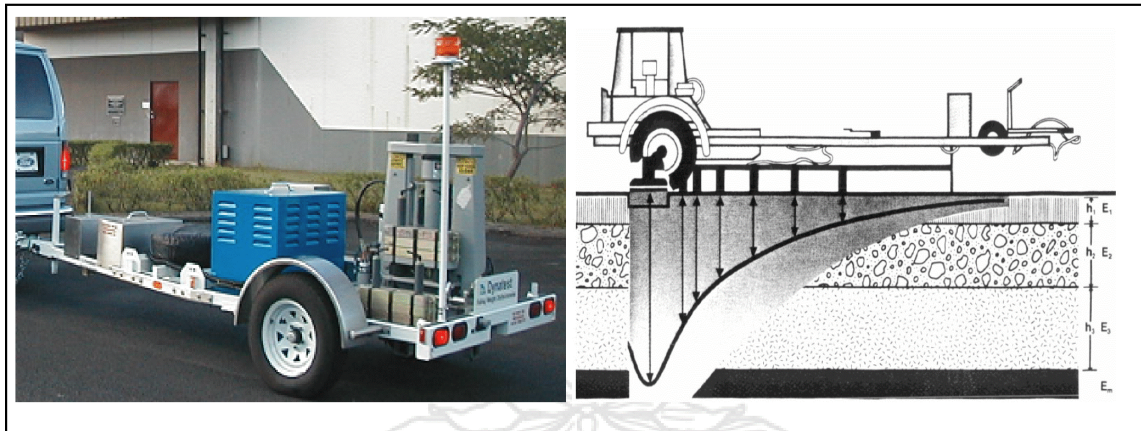


Figura 13. Equipo de deflectometría de impacto.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

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 14 se presentan los rangos de deflectometría obtenidos para una estructura de pavimento con base granular.

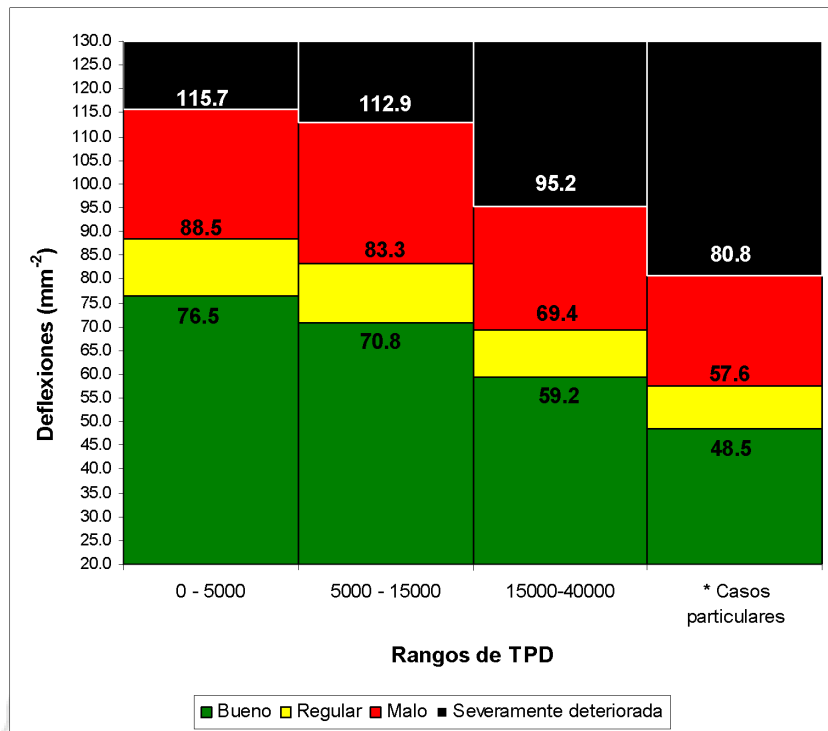


Figura 14. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD inferior a 5000, para una estructura con base granular.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

En las Figuras 15, 16 y 17 es posible observar en términos generales, como las mediciones de la capacidad estructural en San Mateo se encuentran dentro del rango de buena a regular, las principales deficiencias son más comunes en los cuadrantes centrales de San Mateo, donde se observan varias zonas con deflexiones superiores a $115,7 \times 10^{-02}$ mm.

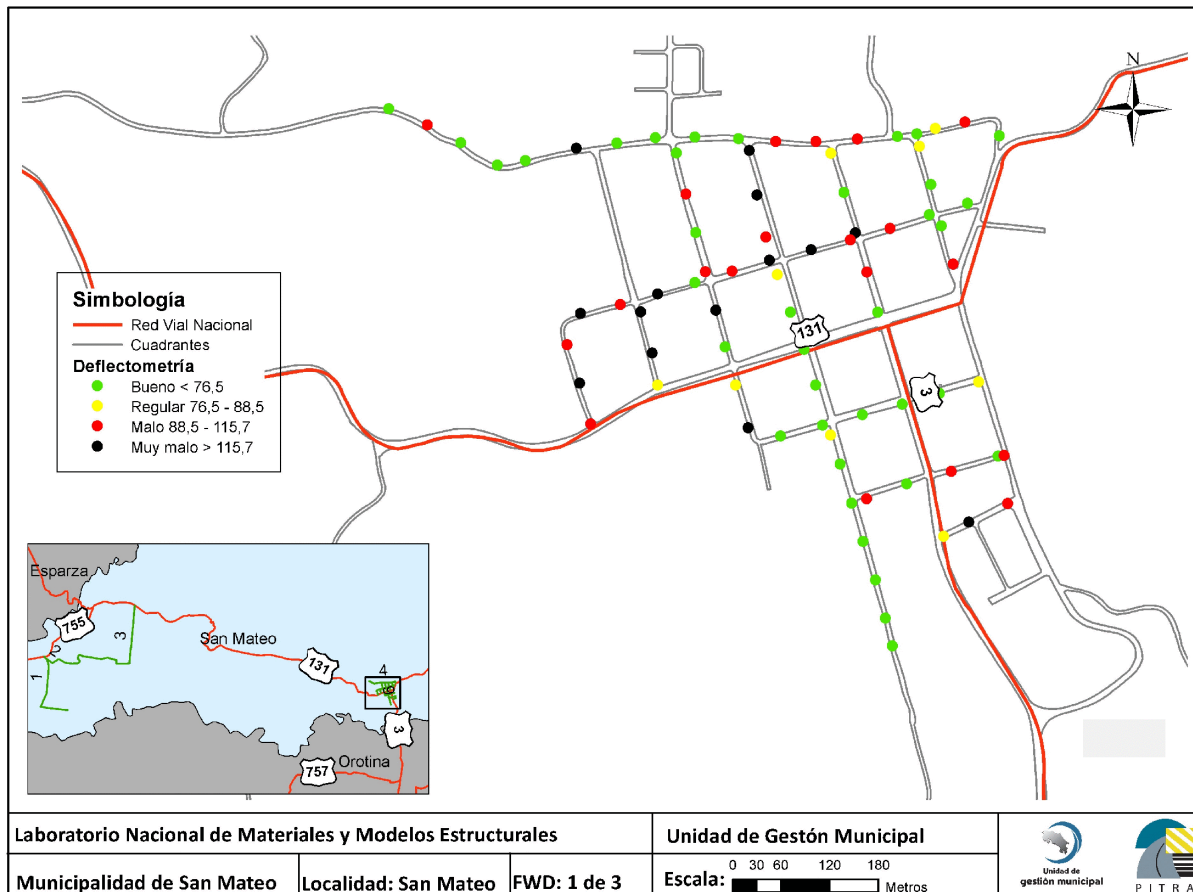


Figura 15. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Mayo del 2011.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

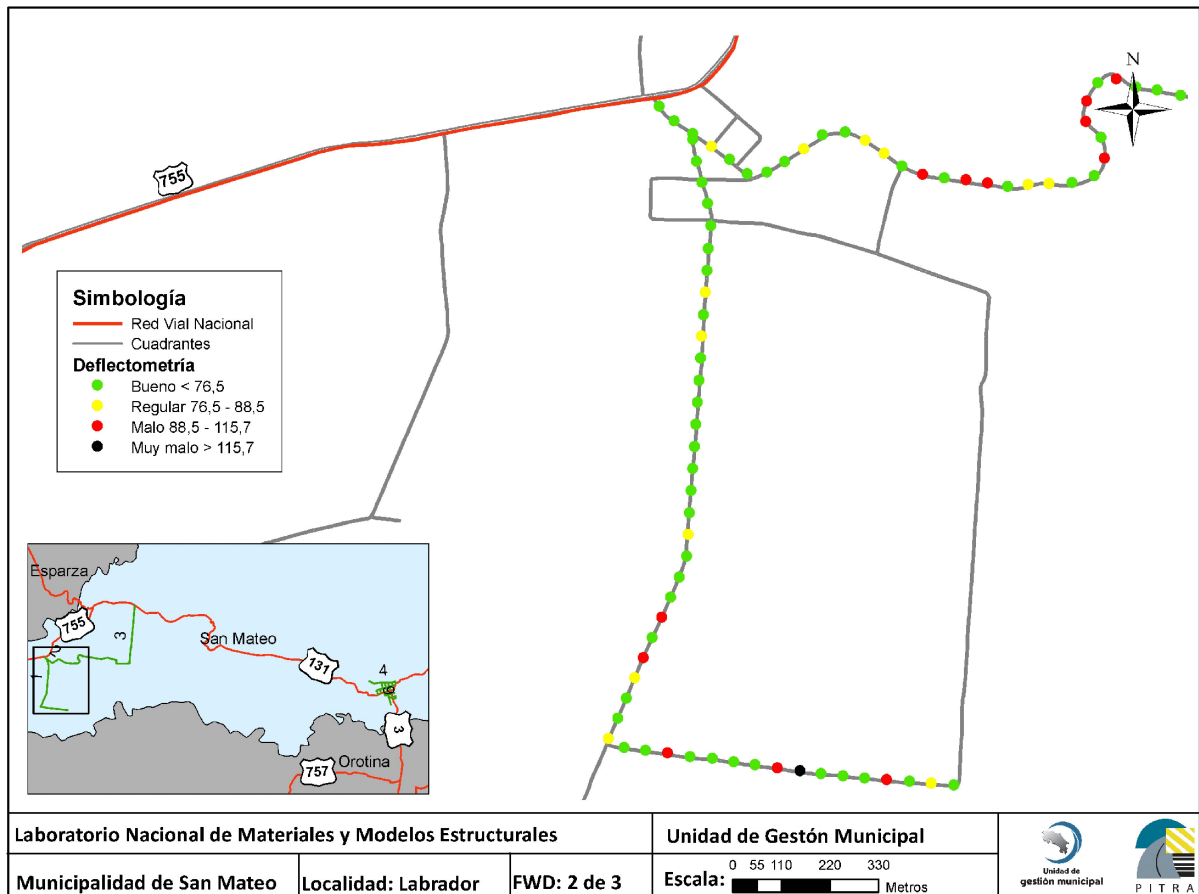


Figura 16. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Mayo del 2011.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

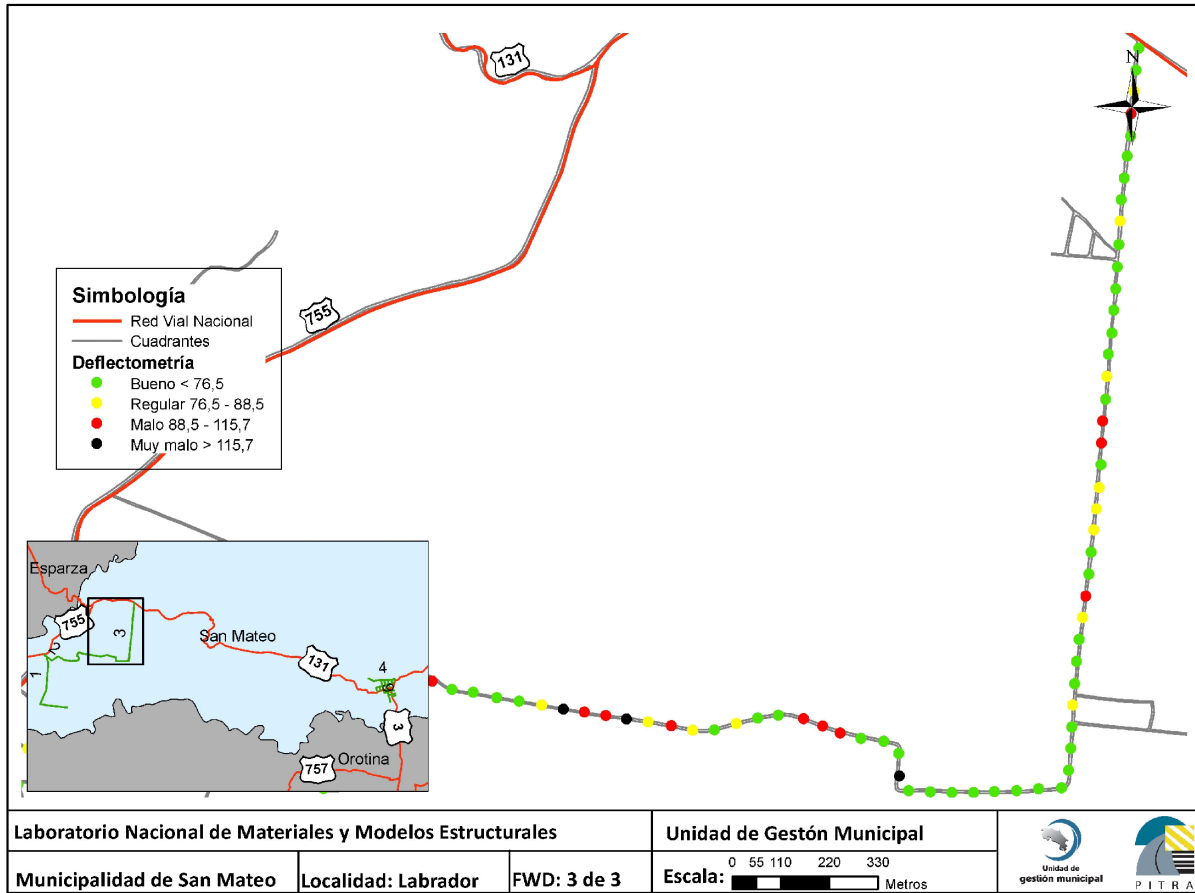


Figura 17. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Mayo del 2011.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

El detalle de la distribución porcentual de las mediciones se puede observar en la Figura 18, donde un 58% de las mediciones realizadas indican un buena condición estructural, por otra parte un 27% de las mediciones corresponden a una condición malo y muy mala y un 15% se encuentra en una condición regular.

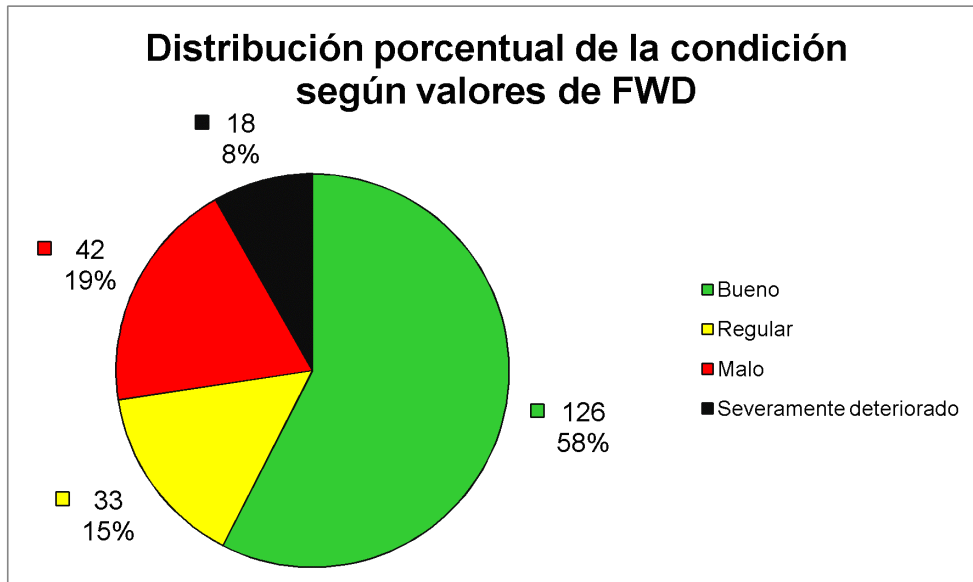


Figura 18. Distribución porcentual de la condición según FWD para las mediciones realizadas.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

3.2.5 Caracterizar la estructura del pavimento

En esta sección se realiza un análisis de la estructura y el tipo materiales que componen el pavimento. La Figura 19 muestra un ejemplo de la estructura de un pavimento; en Costa Rica sin embargo frecuentemente no se cuenta con la capa grava bitumen (base estabilizada).

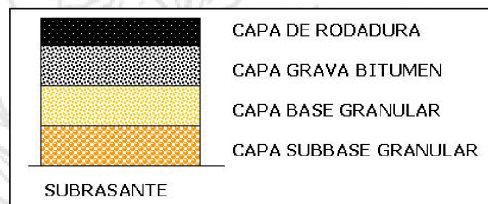


Figura 19. Ejemplo de estructura de pavimento.

La caracterización consiste en diversos ensayos de laboratorio y ensayos en campo, donde resultados se dividen en tres grupos:

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

3.2.5.1 Estructura del pavimento

Se realizan excavaciones para determinar los espesores de las capas del pavimento: carpeta, base, sub-base y sub-rasante.

Las excavaciones se realizan en puntos estratégicos tomando en cuenta la clasificación de las vías del cantón y la deflectometría, considerando además las vías principales de la RVC. El Cuadro 1 muestra los datos obtenidos por el LanammeUCR a partir de los sondeos realizados, además en las siguientes figuras se observa la ubicación de los sondeos.

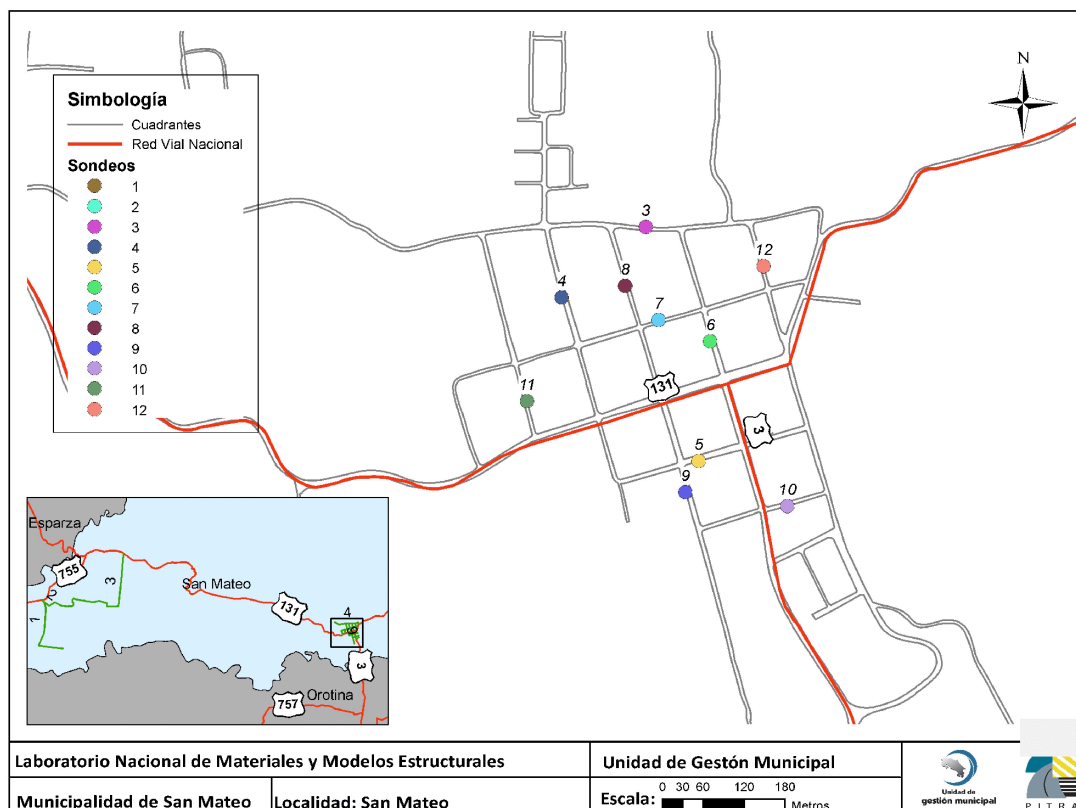


Figura 20. Ubicación de los sondeos realizados en la localidad de San Mateo.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

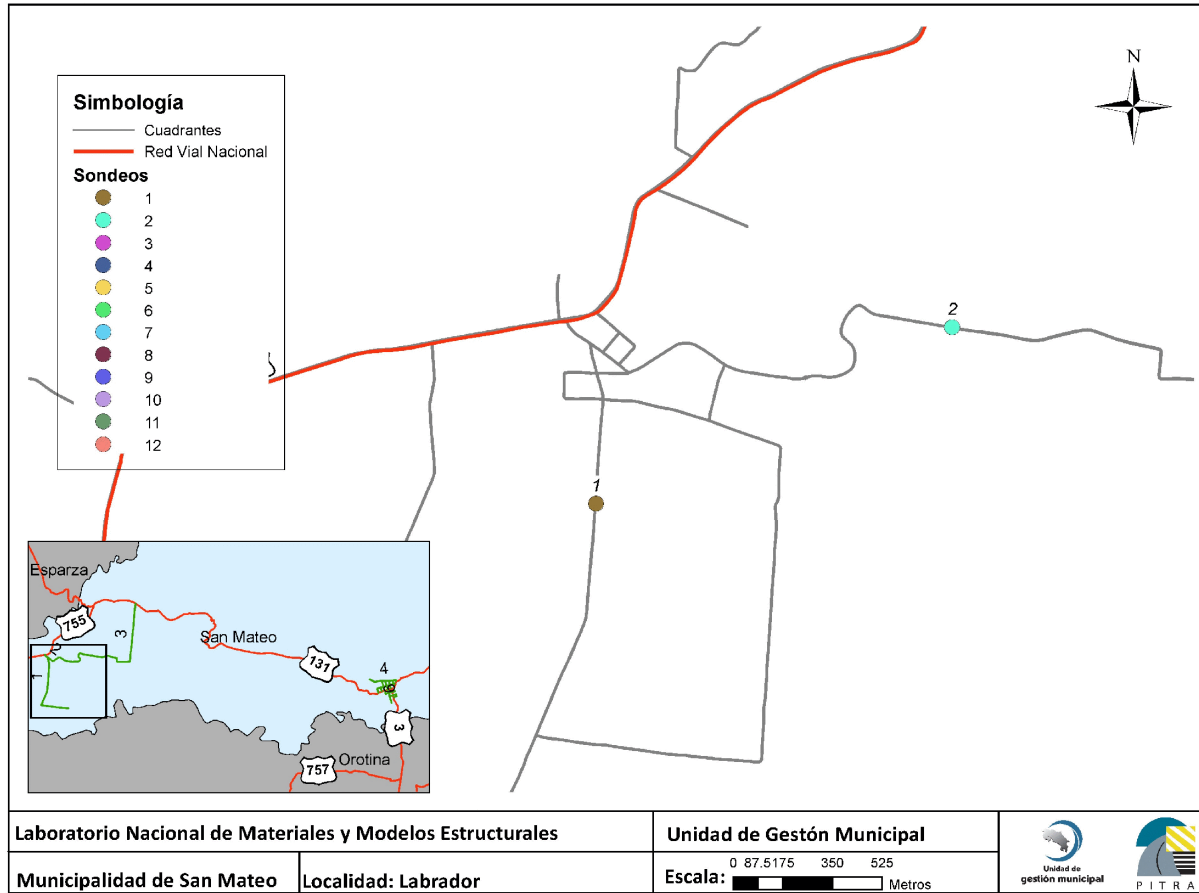


Figura 21. Ubicación de los sondeos realizados en la localidad de Labrador.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

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

Sondeo	CA	BE	BG	SB
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	2,1	0	10,4	0
2	2,5	0	20	0
3	1,5	9	11	12
4	3	6	0	8
5	9	0	8	0
6	7,5	0	12	0
7	5	0	15	10
8	2	0	12,5	13
9	10,6	0	12,4	17
10	1,5	0	20	0
11	2,8	11	10	7
12	1,5	5,5	9	23

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.

3.2.5.2 Caracterización de la sub-rasante

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

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.



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 de los tipos de suelo según la clasificación SUCS se presenta en las Figuras 22 y 23, donde se observa que el suelo predominante son limos de alta plasticidad, estos son suelos en general de mala calidad, que poseen baja resistencia secos y pueden presentar otros problemas en estado húmedo como cambios de volumen, por lo tanto es muy importante que la humedad del suelo no presente grandes variaciones.

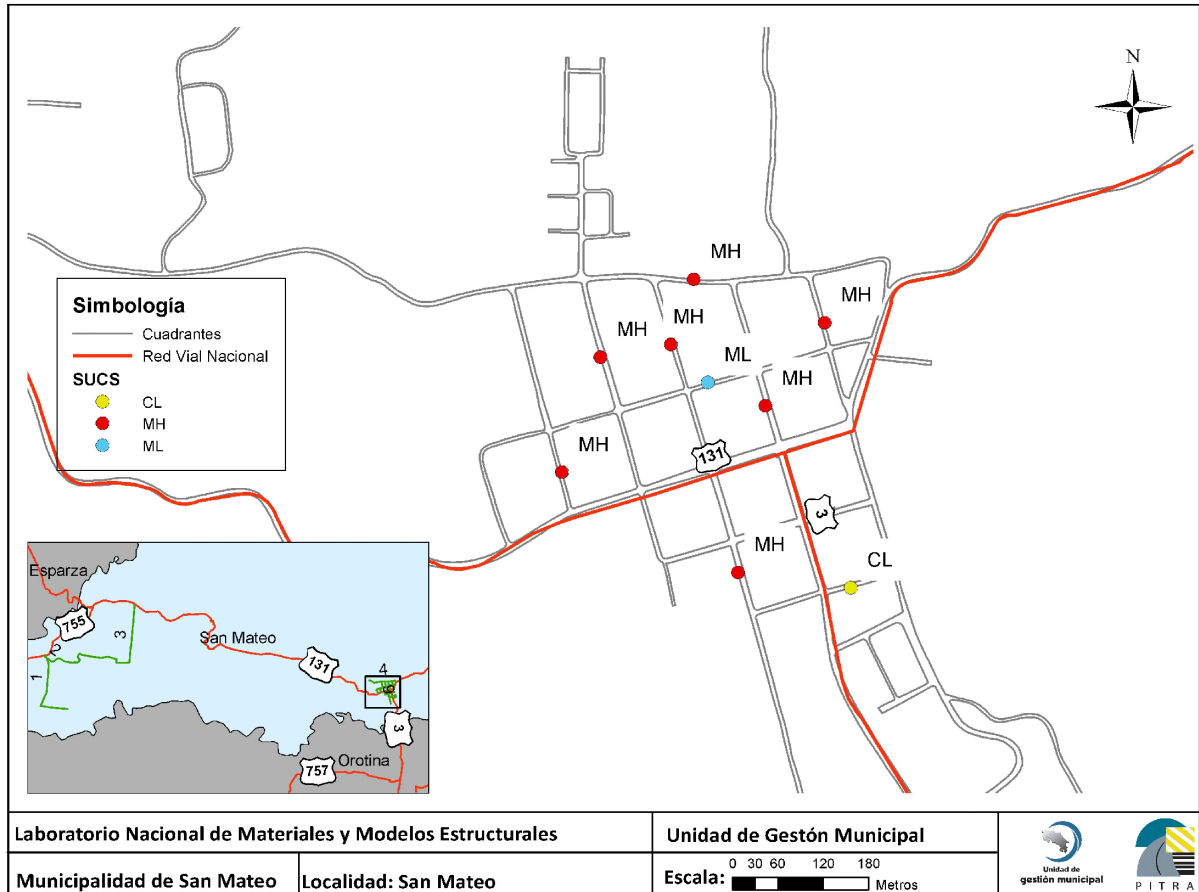


Figura 22. Tipo de suelo según la clasificación SUCS en la localidad de San Mateo.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

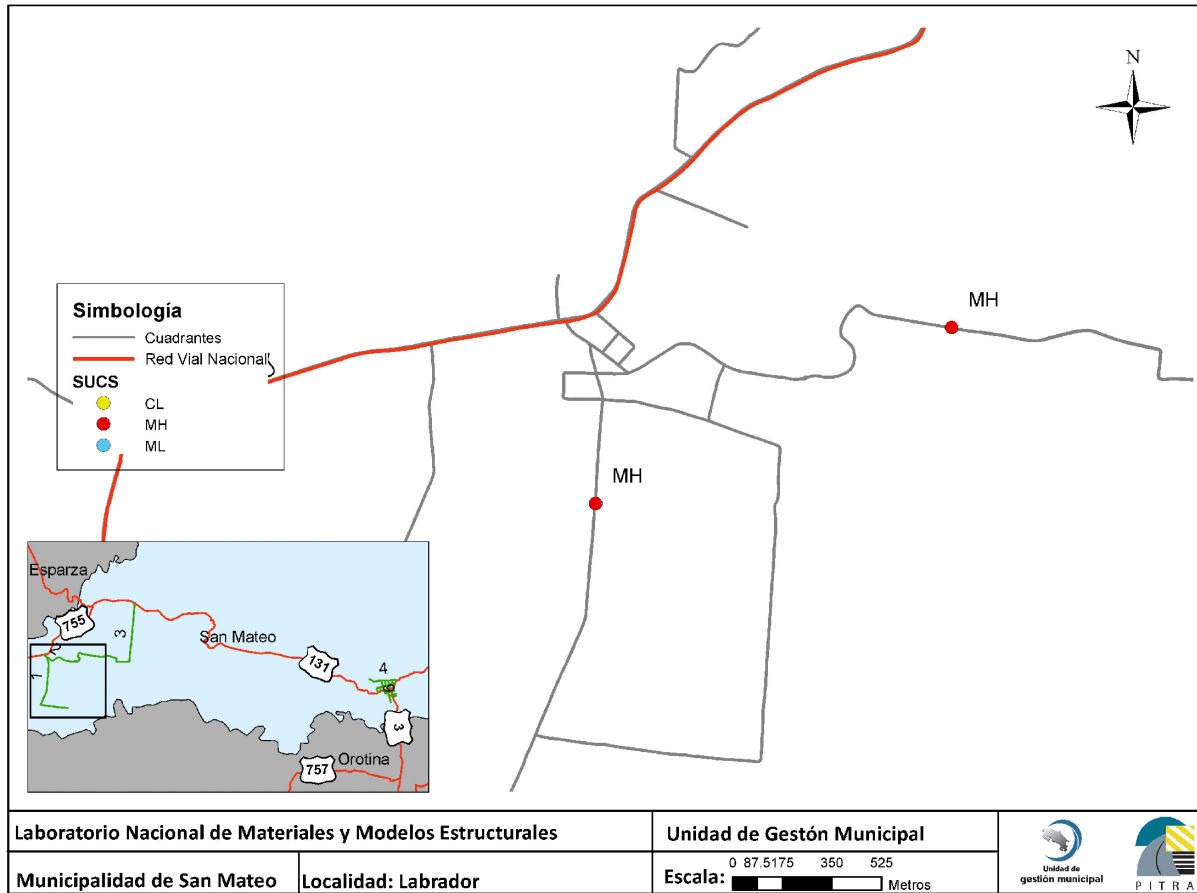


Figura 23. Tipo de suelo según la clasificación SUCS en la localidad de Labrador.

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 para realizar ensayos de laboratorio en la Escuela de Ingeniería Civil de La Universidad de Nacional de Colombia.

Materiales granulares: Contienen 35% o menos de material que pase el tamiz de 75 μ m (#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.

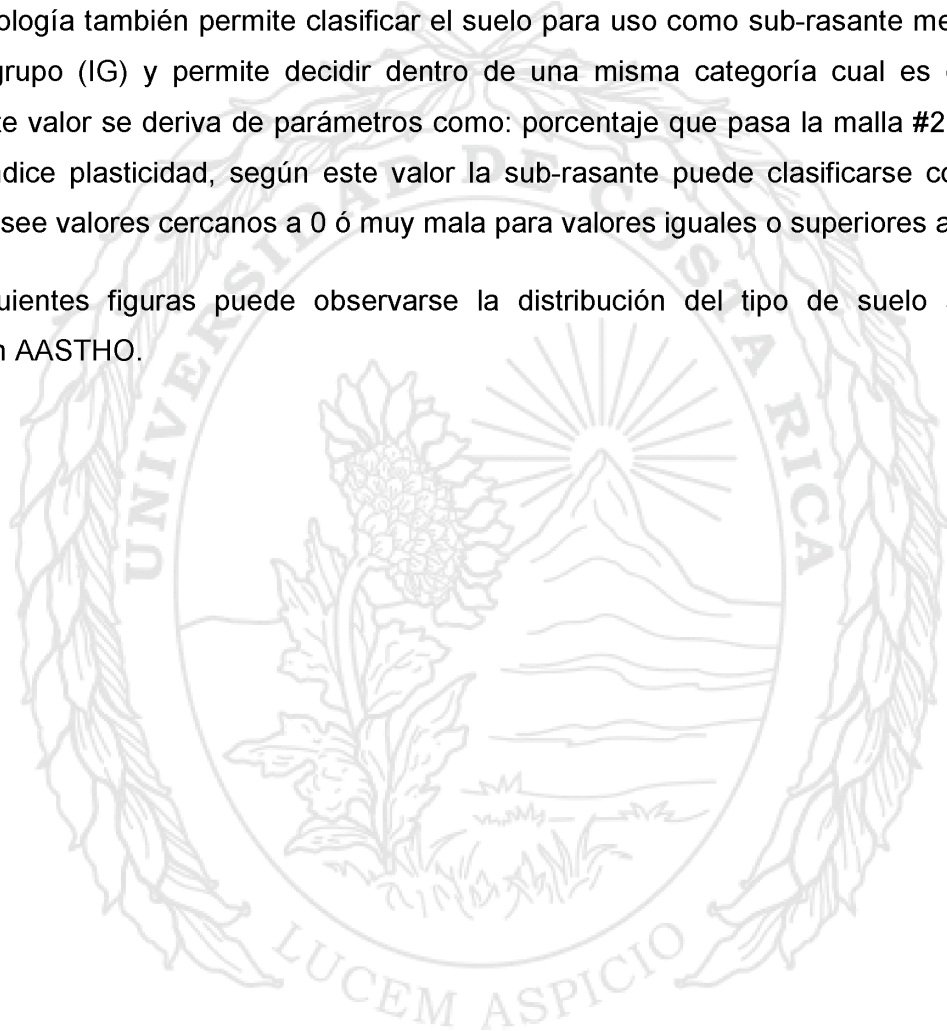
Suelos orgánicos: como su nombre los dice, son suelos orgánicos, incluida la turba, pueden clasificarse en el grupo A8. La clasificación de estos materiales se basa en la inspección visual y no depende del porcentaje que pasa por el tamiz de 75 μm (#200), el LI y el IP. El



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.

Además de la clasificación por grupos para identificar el tipo de suelo y sus características esta metodología también permite clasificar el suelo para uso como sub-rasante mediante el índice de grupo (IG) y permite decidir dentro de una misma categoría cual es de mejor calidad. Este valor se deriva de parámetros como: porcentaje que pasa la malla #200, límite líquido e índice plasticidad, según este valor la sub-rasante puede clasificarse como muy buena si posee valores cercanos a 0 ó muy mala para valores iguales o superiores a 20.

En las siguientes figuras puede observarse la distribución del tipo de suelo según la clasificación AASTHO.



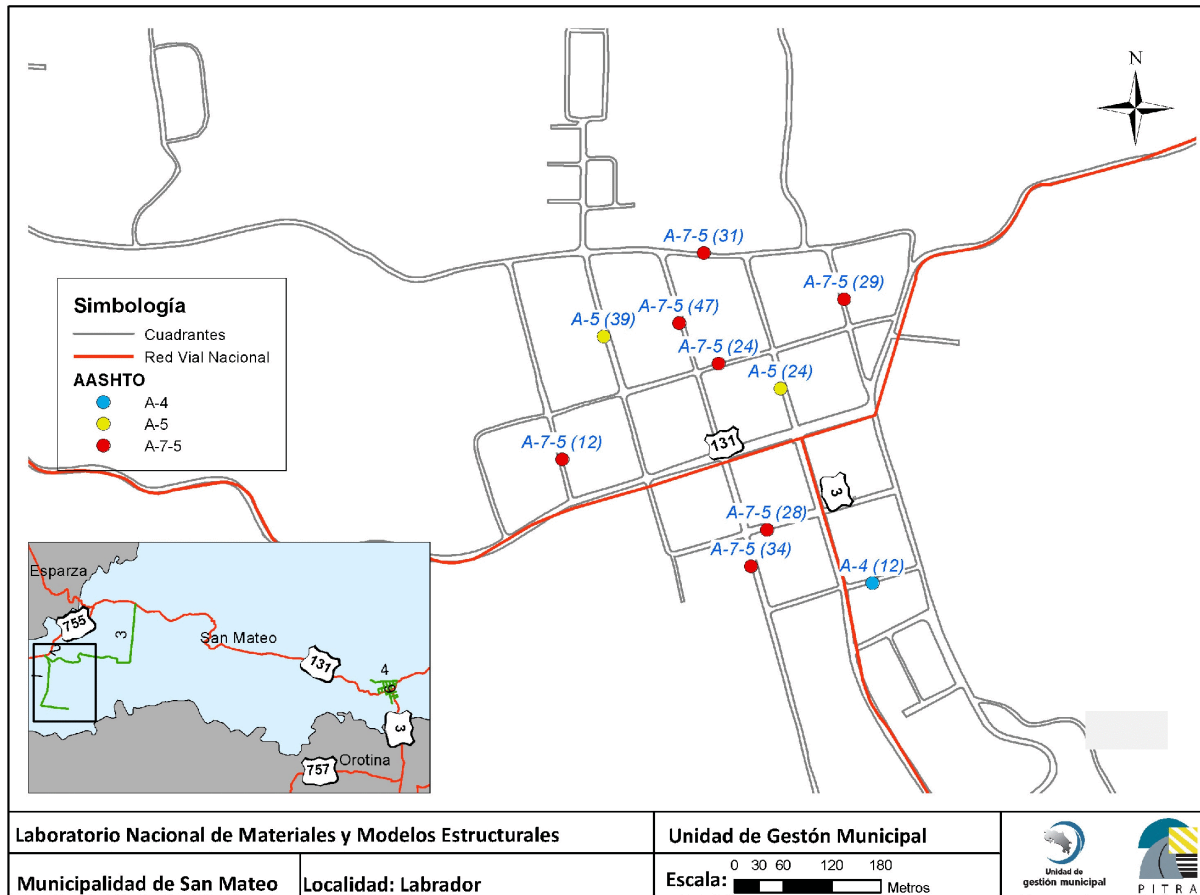


Figura 24. Tipos de suelo según la clasificación AASHTO en la localidad de San Mateo.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

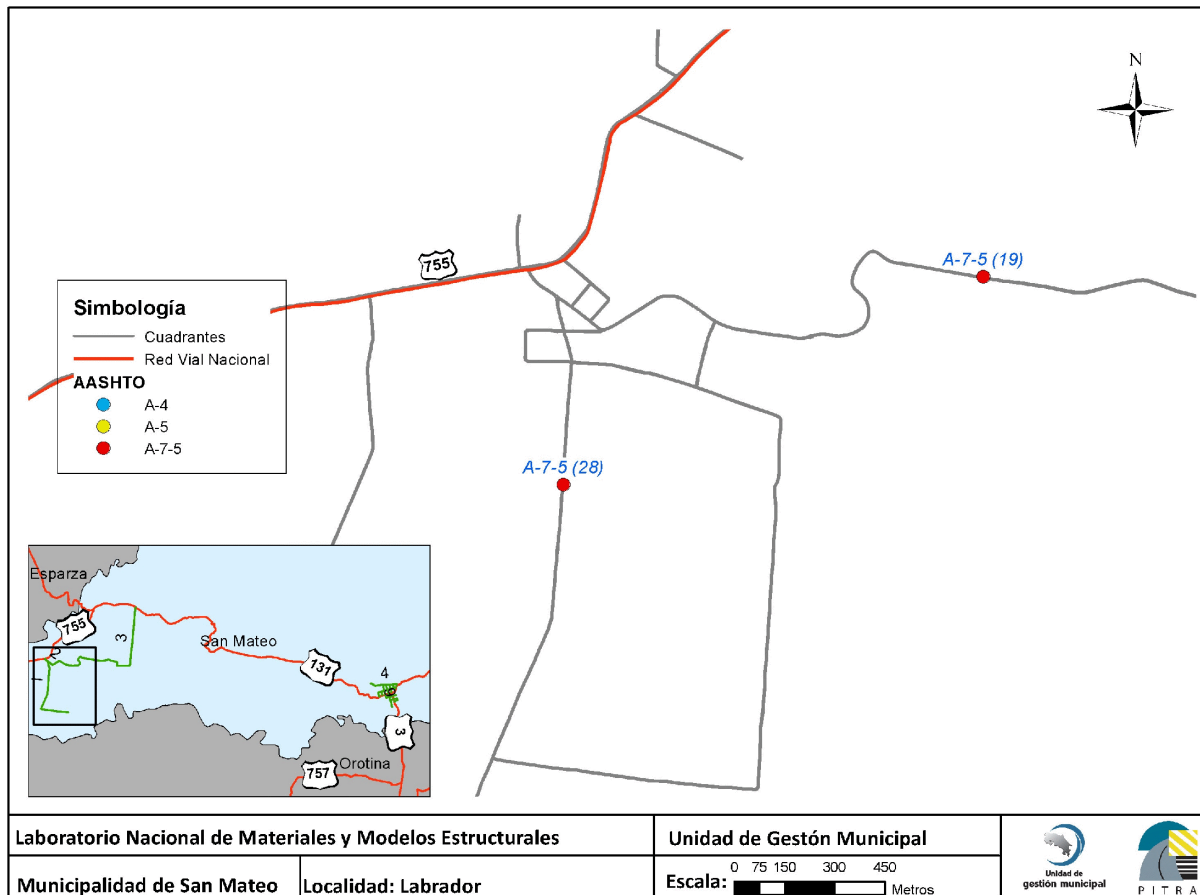


Figura 25. Tipos de suelo según la clasificación AASTHO en la localidad de Labrador.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Los suelos predominantes son los del sub grupo A-7-5, estos son suelos de pobre calidad, muy elásticos, pueden presentar grandes cambios de volumen, producto de variaciones en la humedad y en general poseen una permeabilidad baja.

En el siguiente cuadro puede observarse el detalle de la clasificación de suelos, según los ensayos de laboratorio realizados por el LanammeUCR.

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

Sondeo	Porcentaje Pasando				FG	FS	CF	LL	LP	SUCS	AASHTO
	N°4	N°10	N°40	N°200							
1	100	100	98,6	94,5	0	5,5	94,5	61	34	MH	A-7-5(31)
2	100	100	95,6	88,5	0	11,5	88,5	86	36	MH	A-7-5(47)
3	100	100	94	86,7	0	13,3	86,7	76	39	MH	A-7-5(39)
4	Similar sondeo 6									MH	A-5(24)
5	100	100	95,5	85	0	15	85	52	32	MH	A-7-5(29)
6	100	100	95	80	0	20	80	76	66	MH	A-5(24)
7	100	100	81,9	61,3	0	38,7	61,3	47	31	ML	A-7-5(12)
8	100	100	94,5	80,5	0	19,5	80,5	81	62	MH	A-7-5(28)
9	100	100	93,8	86,7	0	13,3	86,7	64	35	MH	A-7-5(34)
10	100	100	79,1	62,9	0	37,1	62,9	27	18	CL	A-4(12)
11	100	100	79,1	62,9	0	37,1	62,9	71	38	MH	A-7-5(19)
12	100	100	95,7	83,4	0	16,6	83,4	58	36	MH	A-7-5(28)

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.

3.2.5.3 Clasificación de sub-rasante según CBR

En esta sección se analiza la RVC tomando en cuenta 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 imagen se muestra la prueba realizada en sitio.



Figura 26. 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 adquirida 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 Cuadro 4. En las siguientes figuras puede observarse el CBR obtenido para los sondeos realizados, agrupados según la clasificación propuesta por Bowles.

Cuadro 3. Clasificación del CBR.

CBR	Clasificación	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.

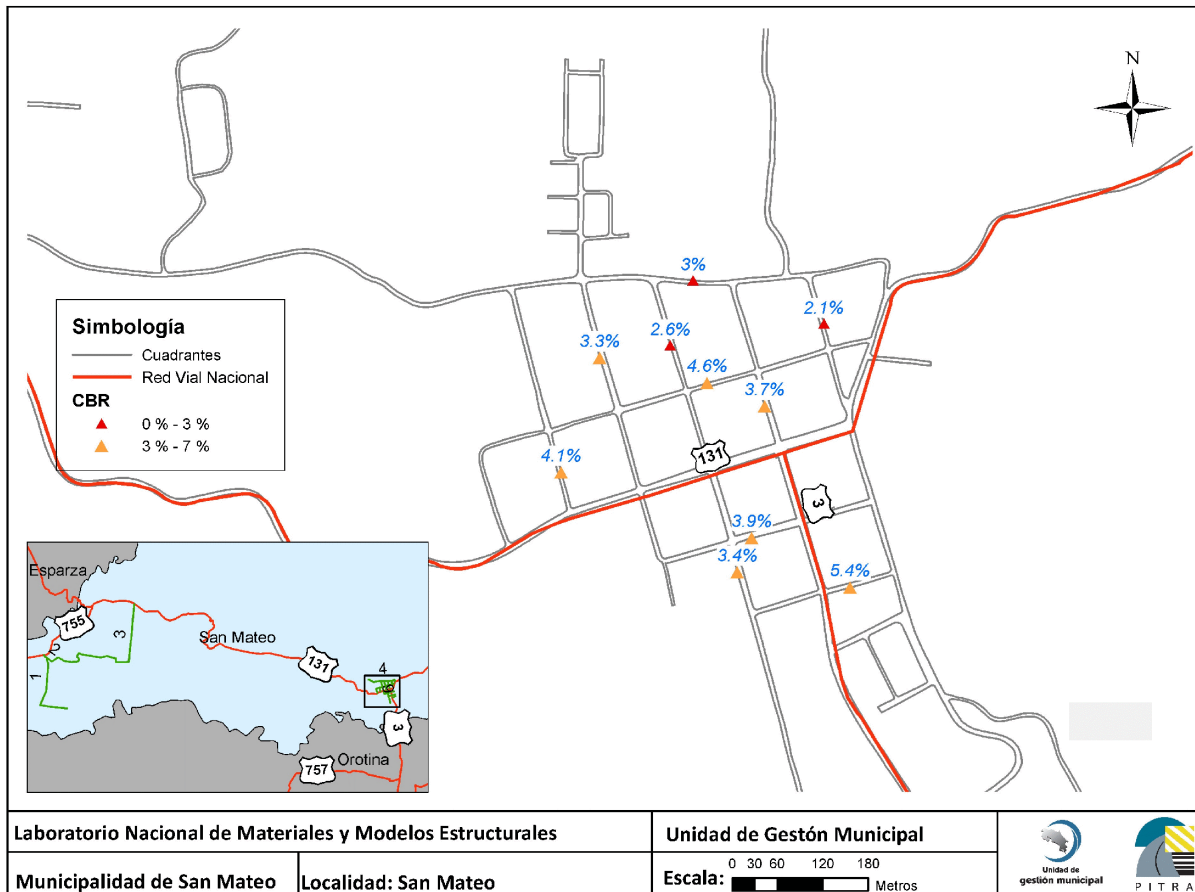


Figura 27. Clasificación del CBR según Bowles, localidad San Mateo.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

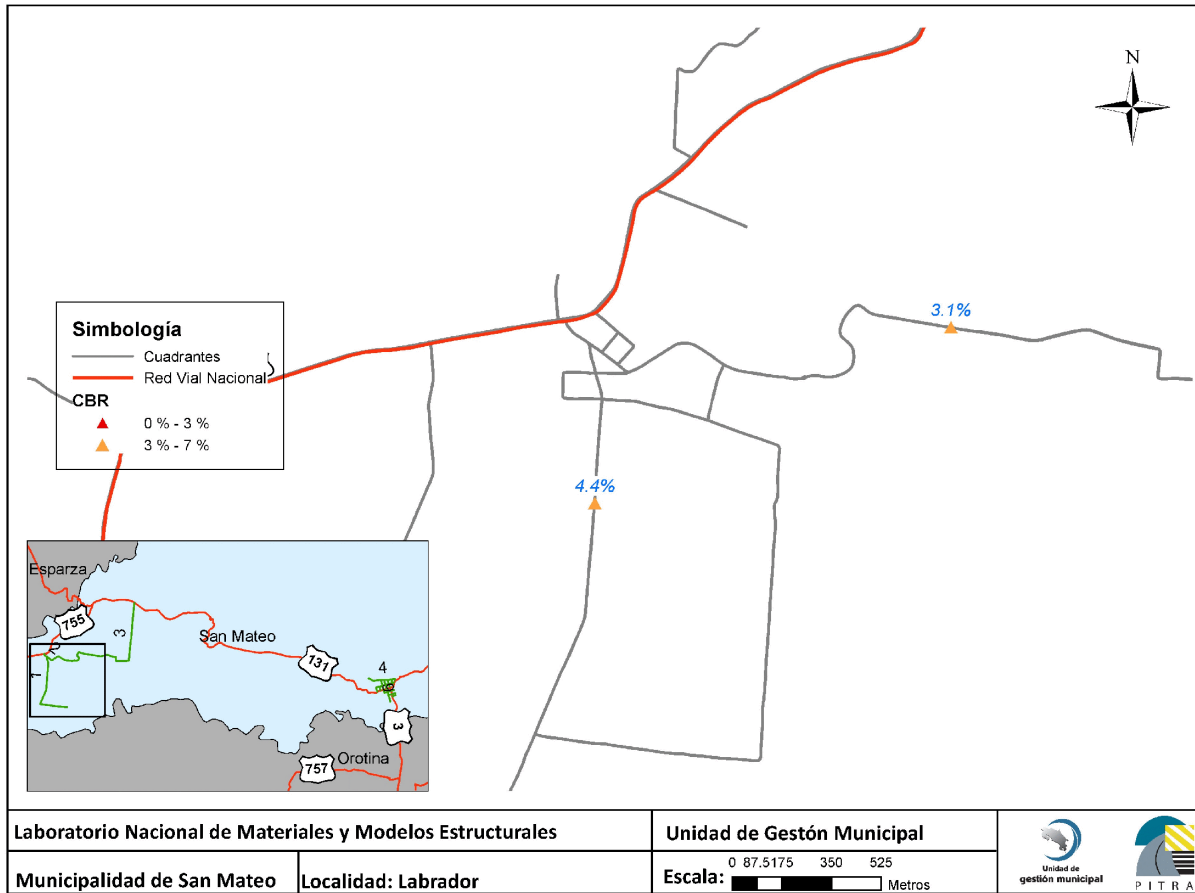


Figura 28. Clasificación del CBR según Bowles, localidad de Labrador.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Se observa en la Figura 27 y 28, que 3 de los 12 sondeos en la localidad de San Mateo presentaron un CBR menor a 3%, lo que indica que son suelos con una resistencia muy pobre, mientras que 9 sondeos poseen valores entre 3% y 7% estos son suelos que pueden clasificarse dentro de la categoría de regular a pobre. En el siguiente cuadro se puede observar en detalle las pruebas de CBR en sitio.

Cuadro 4. Índice de resistencia CBR.

Sondeo	CI	a	b	CBR
1	260,5	0,0820	0,7174	4,4
2	158,3	0,0820	0,7174	3,1
3	149,5	0,0820	0,7174	3,0
4	171,8	0,0820	0,7174	3,3
5	217,1	0,0820	0,7174	3,9
6	200,7	0,0820	0,7174	3,7
7	153,4	0,1111	0,7390	4,6
8	124,2	0,0820	0,7174	2,6
9	181,9	0,0820	0,7174	3,4
10	215,5	0,1266	0,6986	5,4
11	237,2	0,0820	0,7174	4,1
12	94	0,0820	0,7174	2,1

Fuente: LanammeUCR, 2012.

3.2.6 Definir tramos homogéneos

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

Los tramos homogéneos se definirán tomando en cuenta diferentes características de la RVC. Preferiblemente, los mismos no deben ser menores de 300 metros, algunas de las variables a considerar son:

- Clasificación de la vía.
- Tipo de pavimento.
- Deflexiones.
- TPD.
- IRI.

El producto final será una serie de mapas con la identificación de tramos homogéneos de la RVC, y las generalidades de cómo se determinan los respectivos tramos homogéneos. Además de los parámetros respectivos que caracterizan cada tramo homogéneo, considerando deflectometría promedio, IRI promedio, nota de calidad, posibles tipos de



intervención a nivel de red. El detalle de estos resultados se dará a conocer en el siguiente informe, que toma como insumo los resultados obtenidos en el presente documento.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Los conteos realizados indican flujos vehiculares bajos con porcentajes de pesados también bajos, solo un conteo realizado presentó un porcentaje de pesados alto, pero esta ruta posee un TPD cercano a 78, que es un flujo vehicular muy bajo.

Las mediciones del IRI, indican que cerca de un 66% de las mediciones realizadas corresponden a una condición funcional regular y un 29% está asociado a una condición mala o muy mala.

Las deflexiones obtenidas indican que cerca de un 60% de las mediciones se deben a una buena condición estructural, además un 27% de las mediciones indican una estructura de pavimento deficiente.

Las estructura de pavimento están formada en su mayoría por carpetas asfálticas que van desde los 1,5 cm hasta los 10 cm, con bases granulares que varían su espesor entre 8 cm y 20 cm y en casos particulares acompañados de una sub-base o base estabilizada.

Los ensayos realizados indican que la sub-rasante se encuentra constituida es su mayoría por suelos de baja calidad, mayoritariamente limos inorgánicos con una plasticidad alta y con CBR inferiores al 4%.

4.2 Recomendaciones

Realizar la clasificación de la red vial cantonal, tomando en cuenta flujos vehiculares e importancia de las diferentes rutas.



Actualizar de forma periódica los conteos, ya que estos actualmente son bajos y podrían darse cambios importantes a corto plazo.

Realizar conteos semanales para tener un panorama más amplio del comportamiento en el flujo vehicular de la zona.

-----UL-----





5 REFERENCIAS

- Amador, Luis; Mrawira Donath. (Enero 2008) Performance Modeling for Asset Management: What to when you only have two data points; University of New Brunswick.
- 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.
- 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.
- 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-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.
- 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.

- 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.

