



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-04-12

**EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL  
DE CARRILLO:  
DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE TRAMOS  
HOMOGÉNEOS RED VIAL CANTONAL DE  
FILADEFIA**

Preparado por:  
**Unidad de Gestión Municipal**

San José, Costa Rica  
Abril, 2012

Información técnica del documento

<b>1. Informe</b> LM-PI-UM-04-12		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE CARRILLO: DIAGNÓSTICO Y TRAMOS HOMÓGENEOS RVC DE FILADELFIA.		<b>4. Fecha del Informe:</b> Abril, 2012
<b>7. Organización y dirección</b> 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		
<b>8. Notas complementarias</b>		
<b>9. Resumen</b> <i>En el estudio realizado en las principales rutas de la red vial cantonal de Carrillo durante el año 2010, 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 aproximadamente 12 km, correspondientes a la localidad de Filadelfia. Los tramos homogéneos generados fueron posteriormente analizados por medio de diferentes parámetros como: deflectometría, IRI (Índice de Regularidad Internacional) e Índice de Daño (VIZIR), entre otros.</i> <i>El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo indicó que un 54% de los tramos homogéneos (7,1 km) presentan una condición de daños importantes, por otro lado 2,4 km presentan una buena condición estructural. En cuanto a los valores promedio el IRI se determinó que solo un tramo evaluado presenta un IRI inferior a 3,6 m/km, además un 68% de los tramos (6,5 km) presentan una irregularidad importante (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>		
<b>10. Palabras clave</b> Evaluación de carreteras, Gestión, Red vial cantonal, Filadelfia, Tramos homogéneos	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 65
<b>13. Preparado por:</b> Sr. Eliécer Arias Barrantes  Ing. Josué Quesada Campos  Fecha: 16 / 4 / 2012		<b>14. Revisado por:</b> Ing. Sharline López Ramírez  Fecha: 16 / 04 / 12
<b>15. Revisado por:</b> Ing. Jaime Allen Monge, MSc Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 16 / 4 / 2012	<b>16. Revisado por:</b> Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Lanamme UCR  Fecha: 10 / 04 / 2012	<b>17. Aprobado por:</b> Ing. Guillermo Loria Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 16 / 04 / 12



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>7</b>
1.1	ASESORÍA TÉCNICA.....	7
1.2	CAPACITACIÓN .....	8
1.3	VENTA DE SERVICIOS .....	8
1.4	RECURSOS FINANCIEROS .....	8
1.5	LEY 8114: REGLAMENTO SOBRE EL MANEJO, NORMALIZACIÓN Y RESPONSABILIDAD PARA LA INVERSIÓN PÚBLICA EN LA RED VIAL CANTONAL.....	8
<b>2</b>	<b>PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL</b> .....	<b>9</b>
2.1	IMPORTANCIA .....	9
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP) .....	10
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL.....	12
2.4	ESQUEMA METODOLÓGICO .....	13
<b>3</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE FILADELFIA</b> .....	<b>14</b>
3.1	OBJETIVO .....	14
3.2	ACTIVIDADES.....	15
3.2.1	<i>CLASIFICACIÓN DE LA RVC</i> .....	15
3.2.2	<i>TRÁNSITO VEHICULAR DIARIO</i> .....	16
3.2.3	<i>IDENTIFICAR CONDICIÓN FUNCIONAL</i> .....	20
3.2.4	<i>IDENTIFICAR CONDICIÓN ESTRUCTURAL</i> .....	31
3.2.5	<i>CARACTERIZAR LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</i> .....	34
3.2.6	<i>DEFINIR TRAMOS HOMOGÉNEOS</i> .....	44
3.3	NOTAS CALIDAD .....	50
3.3.1	<i>DEFINICIÓN DE LAS NOTAS DE CALIDAD</i> .....	51
3.3.2	<i>NOTAS DE CALIDAD RED VIAL ANALIZADA</i> .....	52
3.4	TIPOS DE INTERVENCIÓN .....	55
3.5	DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	59
3.6	ESCENARIOS DE INVERSIÓN .....	60
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>61</b>
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>64</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b> ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO SEGÚN LOS SONDEOS REALIZADOS.	36
<b>CUADRO 2.</b> CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO DE LA SUB-RASANTE, EN LOS SONDEOS REALIZADOS.	41
<b>CUADRO 3.</b> CLASIFICACIÓN DEL CBR.	43
<b>CUADRO 4.</b> ÍNDICE DE RESISTENCIA CBR.	44
<b>CUADRO 5.</b> LONGITUD DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN FILADELFIA.	45
<b>CUADRO 6.</b> RECALIFICACIÓN PARA TRAMOS EN CONDICIÓN INTERMEDIA.	51
<b>CUADRO 7.</b> NOTA DE CALIDAD ASIGNADA A CADA DE TRAMO ANALIZADO EN LA LOCALIDAD DE FILADELFIA.	53
<b>CUADRO 8.</b> TIPO DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA CADA TRAMO EVALUADO DE LA RED VIAL CANTONAL DE FILADELFIA.	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

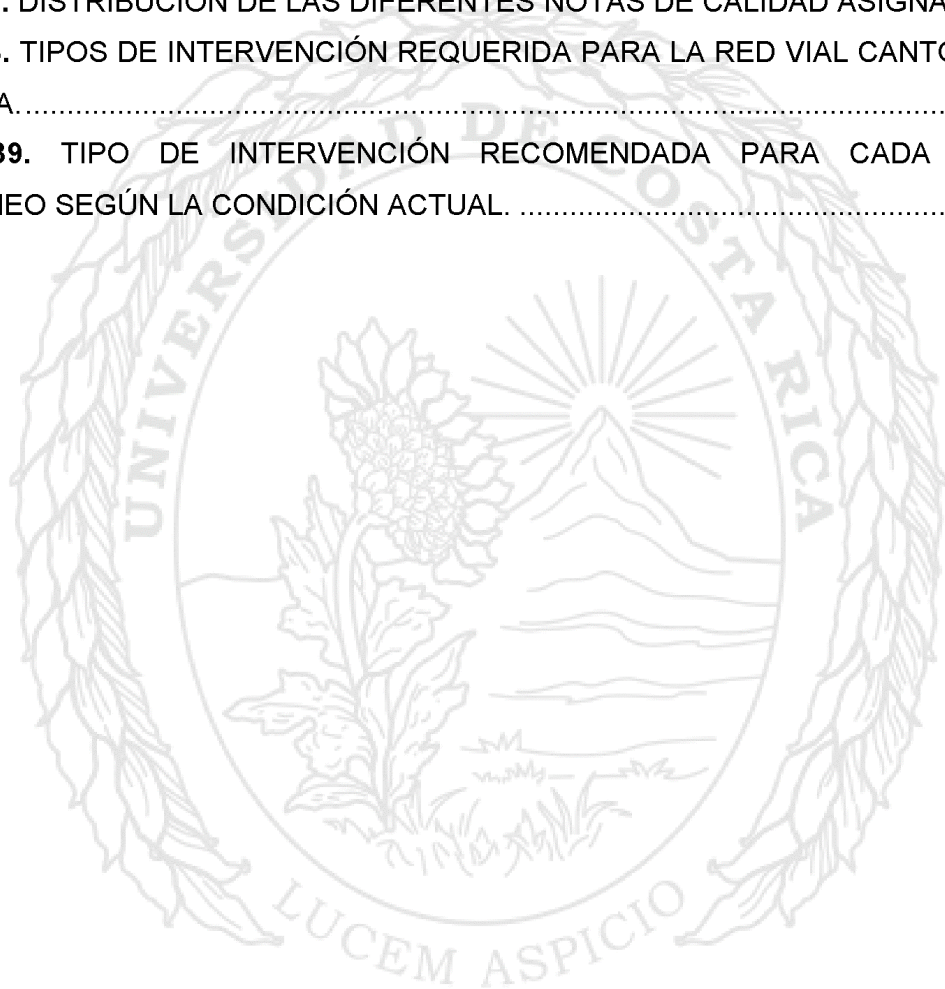
<b>FIGURA 1.</b> ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS. .....	11
<b>FIGURA 2.</b> ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL. ....	12
<b>FIGURA 3.</b> ESQUEMA METODOLÓGICO.....	14
<b>FIGURA 4.</b> CLASIFICACIÓN RVC DE FILADELFIA.....	16
<b>FIGURA 5.</b> CABLES Y CONTADORES AUTOMÁTICOS EN SITIO.....	18
<b>FIGURA 6.</b> CONFIGURACIÓN DE LOS CONTADORES.....	18
<b>FIGURA 7.</b> VOLUMEN VEHICULAR DIARIO LOCALIDAD DE FILADELFIA.....	19
<b>FIGURA 8.</b> PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN LA LOCALIDAD DE FILADELFIA.....	20
<b>FIGURA 9.</b> ESQUEMA DE INSPECCIÓN VISUAL EN METODOLOGÍA VIZIR.....	22
<b>FIGURA 10.</b> NIVELES DE GRAVEDAD DE DETERIOROS TIPO B.....	23
<b>FIGURA 11.</b> EJEMPLOS DE DAÑOS SUPERFICIALES CON METODOLOGÍA VIZIR.....	24



<b>FIGURA 12.</b> EJEMPLOS DE DAÑOS SUPERFICIALES CON METODOLOGÍA VIZIR. ....	25
<b>FIGURA 13.</b> EVALUACIÓN DE DETERIORO SUPERFICIAL POR MEDIO DE VIZIR EN FILADELFIA.....	26
<b>FIGURA 14.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ÍNDICE DE DETERIORO PARA LA LOCALIDAD DE FILADELFIA. (INFORMACIÓN RECOPIADA POR UTGV CARRILLO, 2010).....	27
<b>FIGURA 15.</b> REPRESENTACIÓN FÍSICA DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL. ..	28
<b>FIGURA 16.</b> PERFILÓMETRO INERCIAL LÁSER. ....	28
<b>FIGURA 17.</b> CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS. ....	29
<b>FIGURA 18.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN SEGÚN EL IRI PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN JUNIO DE 2010.....	30
<b>FIGURA 19.</b> EQUIPO DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO. ....	31
<b>FIGURA 20.</b> CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR. ....	32
<b>FIGURA 21.</b> CONDICIÓN DEL FWD PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN JUNIO DEL 2010. ....	33
<b>FIGURA 22.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN SEGÚN FWD PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS.....	34
<b>FIGURA 23.</b> EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	34
<b>FIGURA 24.</b> UBICACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS EN LA LOCALIDAD DE FILADELFIA.....	35
<b>FIGURA 25.</b> CARACTERIZACIÓN DE LA SUB-RASANTE SEGÚN SUCS Y AASHTO. ....	40
<b>FIGURA 26.</b> PRUEBA DE CBR EN SITIO.....	42
<b>FIGURA 27.</b> CLASIFICACIÓN DEL CBR SEGÚN BOWLES.....	43
<b>FIGURA 28.</b> UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS UBICADOS EN FILADELFIA.....	46
<b>FIGURA 29.</b> DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS EN FILADELFIA. .....	47
<b>FIGURA 30.</b> PORCENTAJE DE METROS CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO.....	48
<b>FIGURA 31.</b> PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD PROMEDIO. ....	48
<b>FIGURA 32.</b> IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS EN FILADELFIA. ....	49



<b>FIGURA 33. PORCENTAJE DE METROS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO. ...</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 34. PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO. ....</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 35. NOTAS DE CALIDAD PARA FLUJOS VEHICULARES INFERIORES A 5000 VEHÍCULOS Y BASE GRANULAR. ....</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 36. NOTAS DE CALIDAD PARA LOS DIFERENTES TRAMOS HOMOGÉNEOS ANALIZADOS EN LA LOCALIDAD DE FILADELFIA. ....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 37. DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS. .</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA 38. TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDA PARA LA RED VIAL CANTONAL DE FILADELFIA. ....</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 39. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO HOMOGÉNEO SEGÚN LA CONDICIÓN ACTUAL. ....</b>	<b>59</b>





## 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 Carrillo 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 Carrillo 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 Carrillo.
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 Venta de servicios

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 Carrillo.

## 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 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, 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.

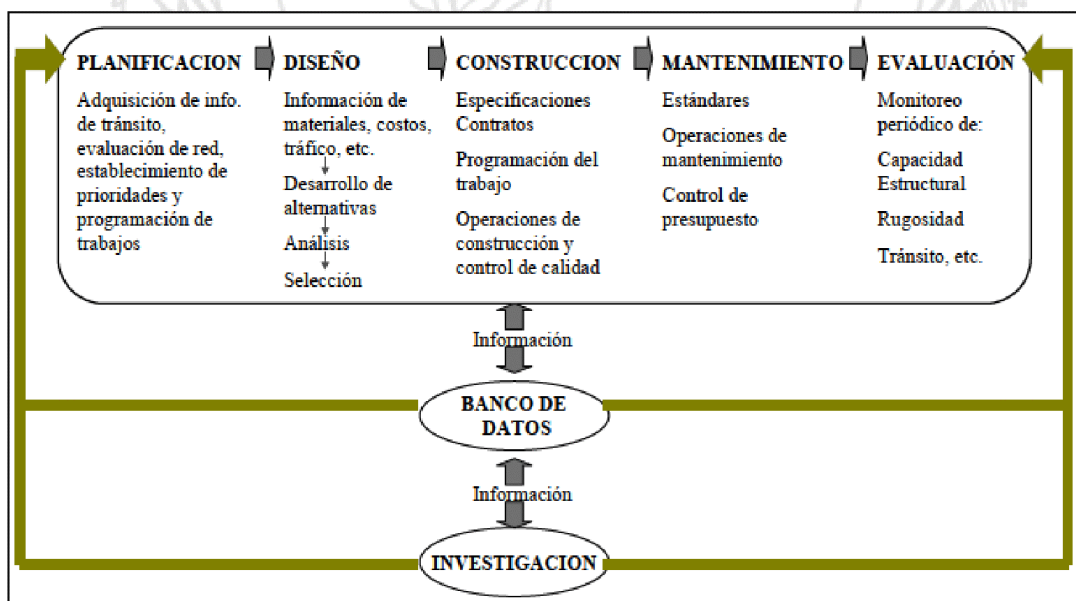
La importancia del tema se enfoca en maximizar los beneficios obtenidos al invertir en la red cantonal de la Municipalidad de Carrillo, proporcionando políticas de inversión para la rehabilitación y el mantenimiento de sus rutas basándose en fundamentos técnicos, de manera que se dé una recuperación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

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.

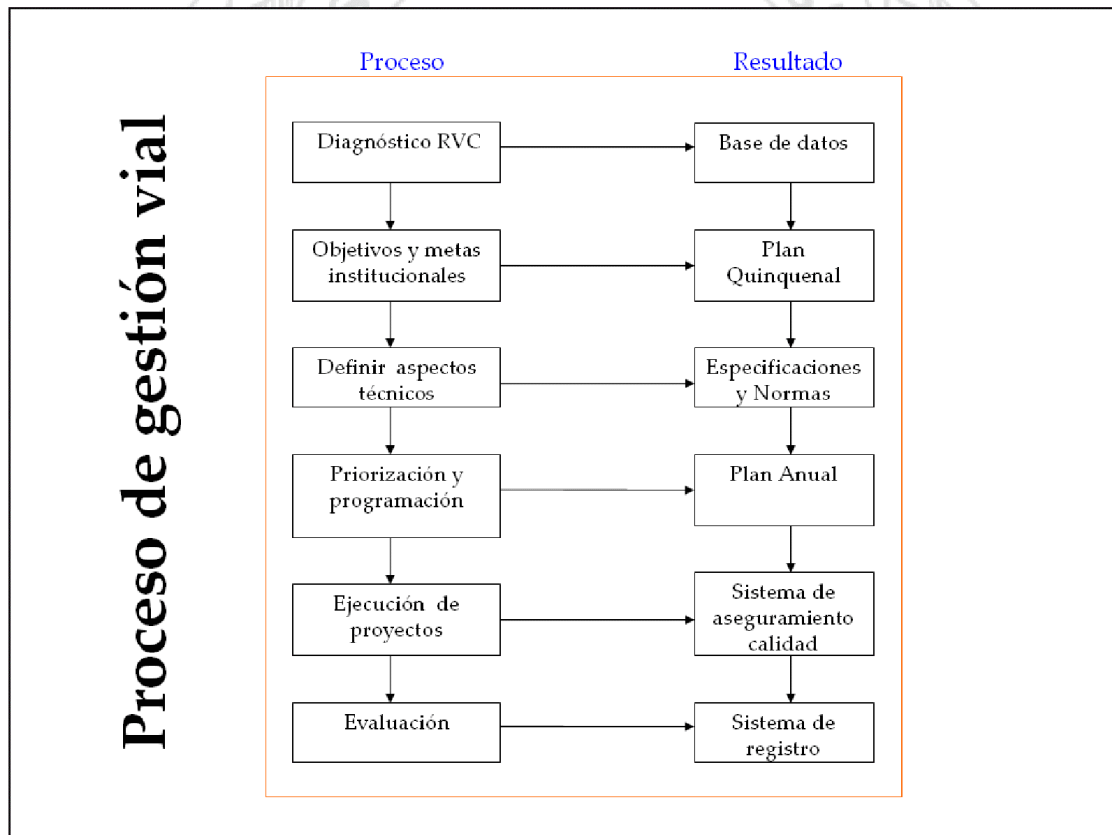
Los pavimentos son estructuras complejas que se ven afectadas por diferentes variables: frecuencia (cantidad de vehículos que circulan en un periodo de tiempo determinado) y peso de vehículos que soportan, solicitaciones de medio ambiente, materiales usados y formas de construcción, mantenimiento, etc.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

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

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

### 2.3 Proceso de Gestión de Infraestructura Vial Municipal

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

A continuación 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.

Fuente: López, 2009.

### 3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE FILADELFIA

#### 3.1 Objetivo

Realizar una evaluación de la RVC de Carrillo, localidad de Filadelfia; para obtener una base de datos con diferentes características técnicas de la infraestructura vial de la red. El



diagnóstico también es insumo para definir los objetivos y metas institucionales, con el objetivo principal de desarrollar un plan quinquenal de conservación de la RVC de Carrillo.

### 3.2 Actividades

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

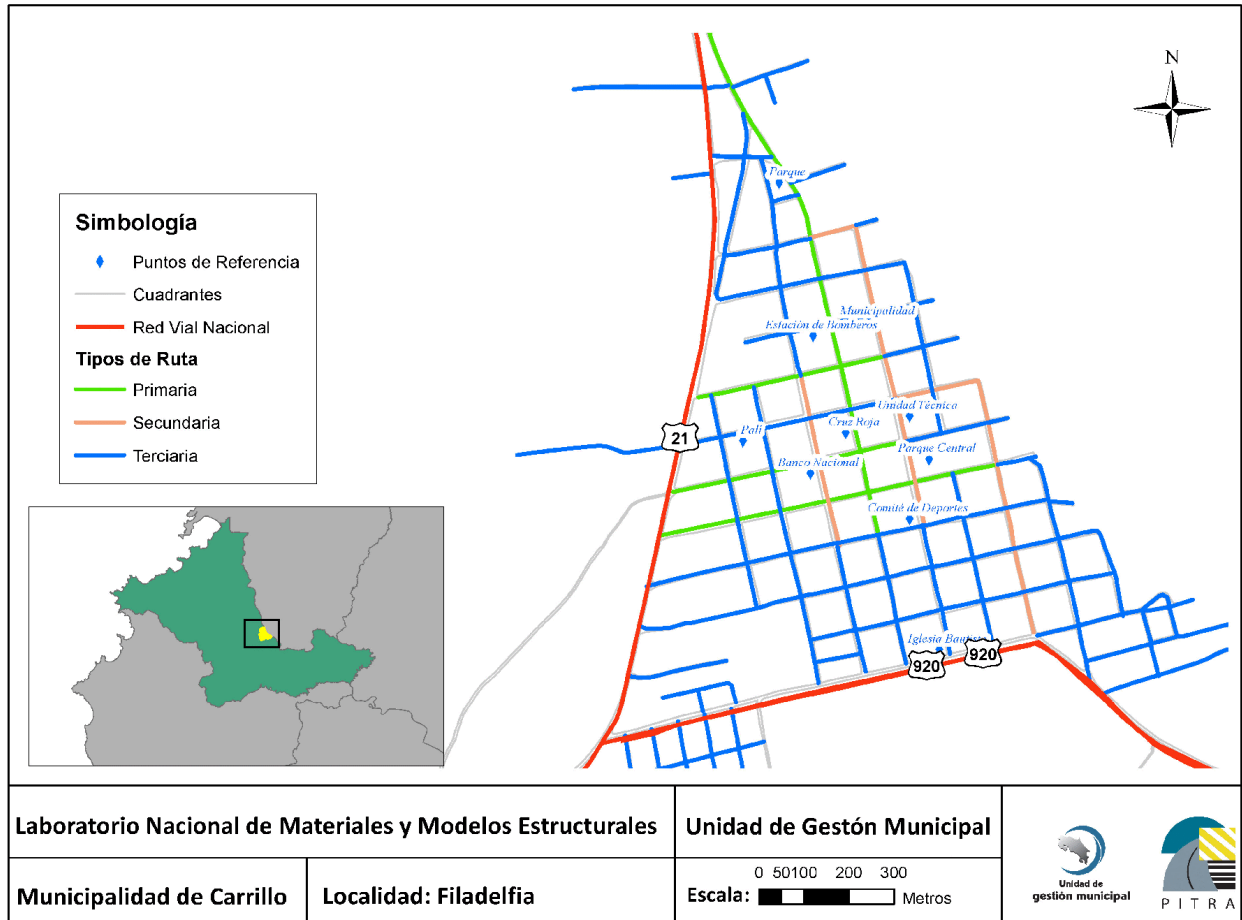
1. Clasificación de la red vial cantonal (RVC).
2. Determinar tránsito (TPD) y clasificación vehicular.
3. Identificar condición funcional.
4. Identificar condición estructural.
5. Caracterizar la estructura del pavimento.
6. Definir tramos homogéneos.

#### 3.2.1 Clasificación de la RVC

Se evalúa el uso y operación de la RVC y se categorizan las rutas según su función o 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. También se realiza un recorrido preliminar por la RVC, para determinar puntos estratégicos de mayores volúmenes y observar un panorama general de la movilidad del tránsito en la RVC. Se adjunta un mapa con la clasificación de la RVC de la localidad de Filadelfia de la Municipalidad de Carrillo.



**Figura 4.** Clasificación RVC de Filadelfia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

### 3.2.2 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 el refuerzo o mantenimiento oportuno. Por ésta razón se recomienda medir el tránsito al menos cada año en puntos estratégicos de la red, para una adecuada gestión vial.





Para determinar el TPD se realizaron conteos vehiculares que incluían la clasificación vehicular en las vías primarias, secundarias y terciarias de la RVC. 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 Carrillo fue responsable de realizar éstos conteos, los cuales suministran información indispensable para la realización de un correcto diagnóstico de la red vial.

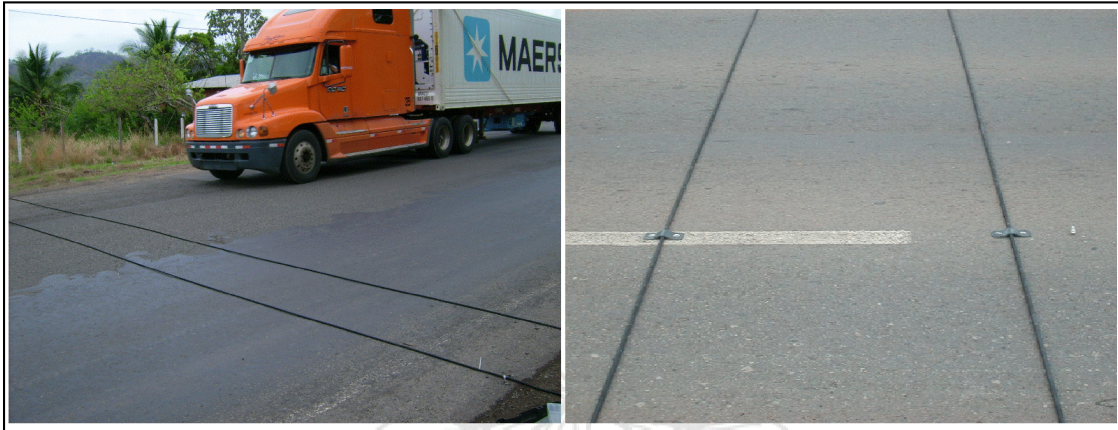
Los conteos vehiculares se realizan sobre sitios representativos de la red vial, principalmente sobre los puntos de mayor tránsito en la zona de estudio.

Los conteos vehiculares se realizaron por parte del personal de la UTGV de Carrillo 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.

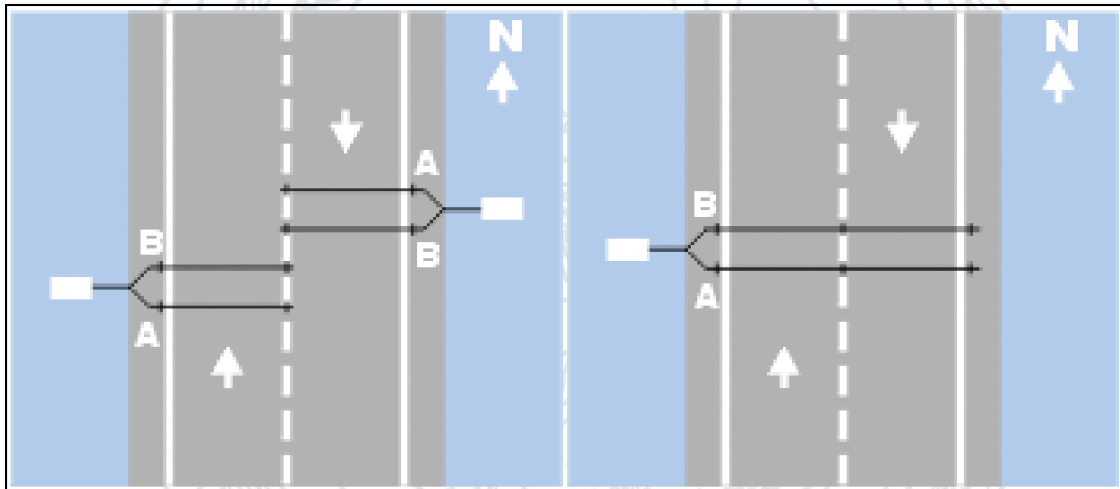
El volumen y tipo de tránsito cambian continuamente; por lo tanto, los conteos se deben actualizar periódicamente, preferiblemente cada año o mínimo cada dos años.

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



**Figura 5.** Cables y contadores automáticos en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.



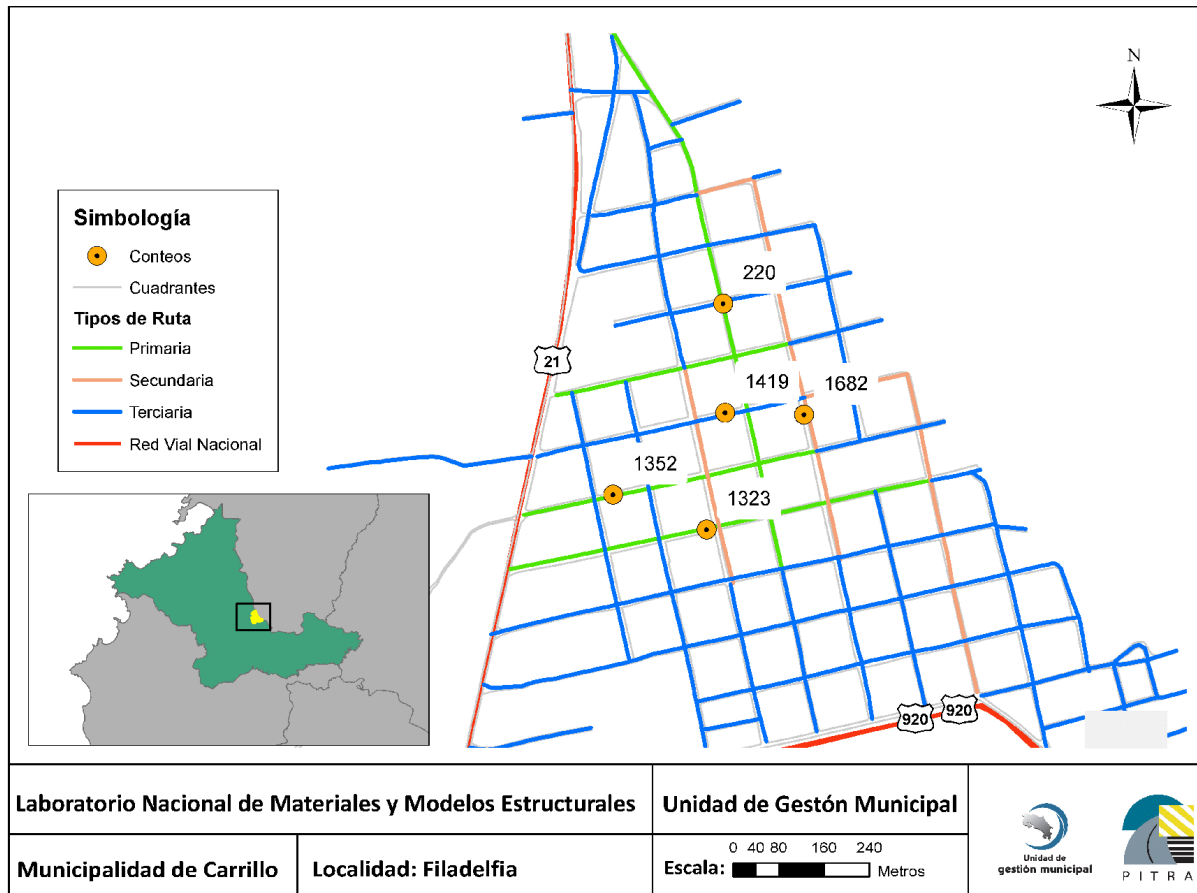
**Figura 6.** Configuración de los contadores.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El esquema de la izquierda en la Figura 6 muestra la configuración ideal, el de la derecha muestra una configuración más simple pero que resulta en pérdida de precisión.

En el casco central del cantón de Carrillo se realizaron 13 conteos, de los cuales 5 se encuentran en la localidad de Filadelfia.

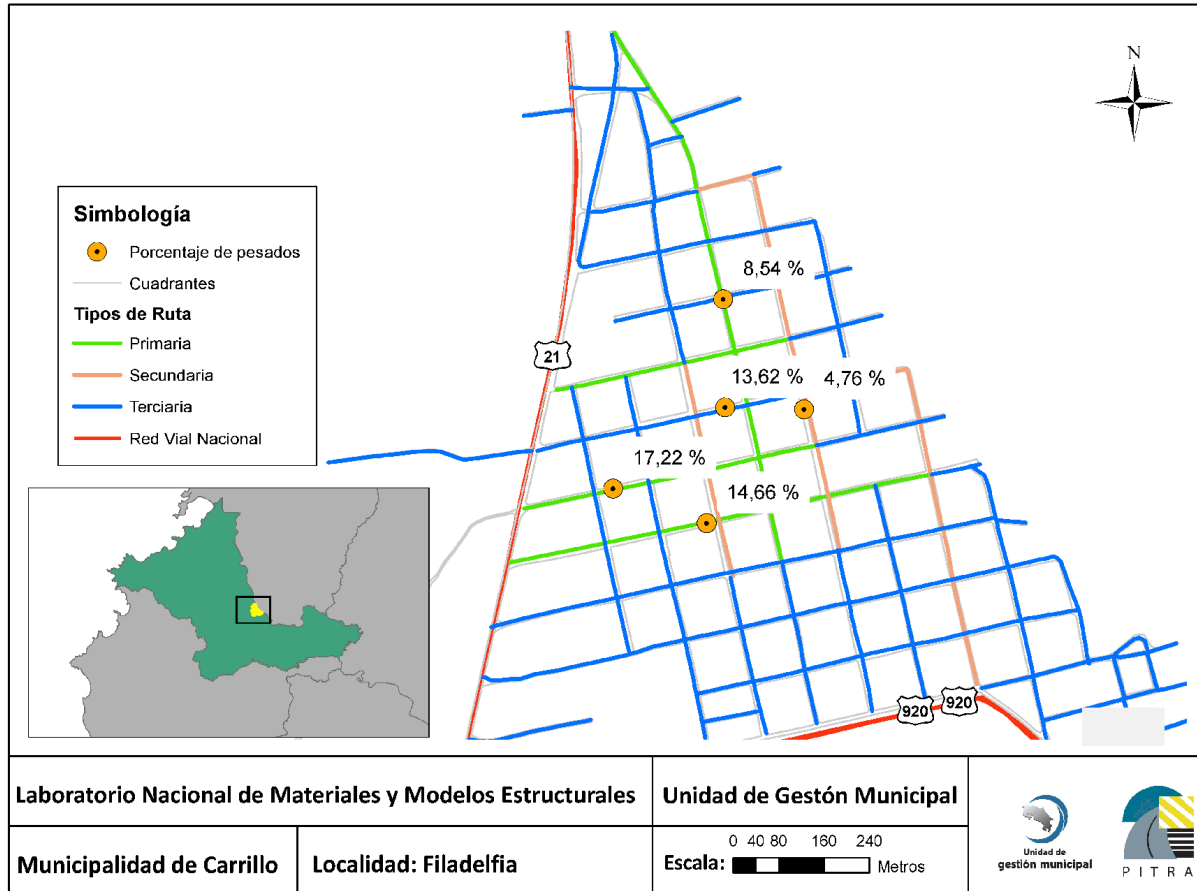
En la siguiente figura se presentan los sitios en donde se realizaron los conteos en la localidad Filadelfia. Para los conteos realizados el flujo vehicular registrado es inferior a los 5000 vehículos por día.



**Figura 7.** Volumen vehicular diario localidad de Filadelfia.

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

Además de la cantidad de vehículos que circulan diariamente en las vías, es importante conocer la cantidad de vehículos pesados, ya que este tipo de vehículos ejercen un mayor desgaste del pavimento, con respecto a los vehículos livianos. En la siguiente figura se presenta el porcentaje de vehículos pesados que transitan sobre diferentes vías de la localidad de Filadelfia. Es importante destacar que el porcentaje de vehículos pesados registrado en cuadrantes centrales es bastante alto. Estos porcentajes se registraron sobre vías primarias y secundarias con valores de 8,5% a 17,2 %.



**Figura 8.** Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Filadelfia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

### 3.2.3 Identificar condición funcional

La parte funcional se refiere a la habilidad de la vía para cumplir la función de proporcionar servicio a los usuarios, con respecto a funcionalidad, se evaluaron dos variables:

1. Deterioro Superficial (VIZIR).
2. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).



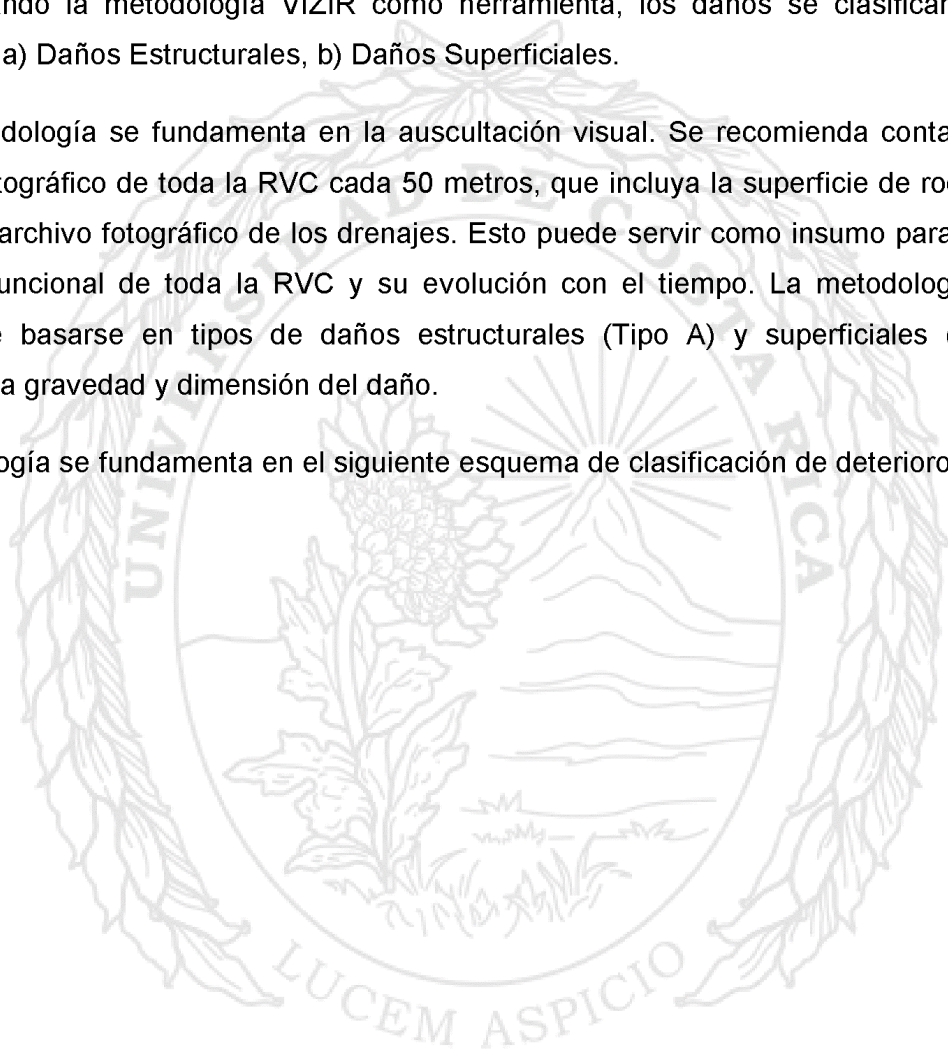
### 3.2.3.1 Deterioro Superficial

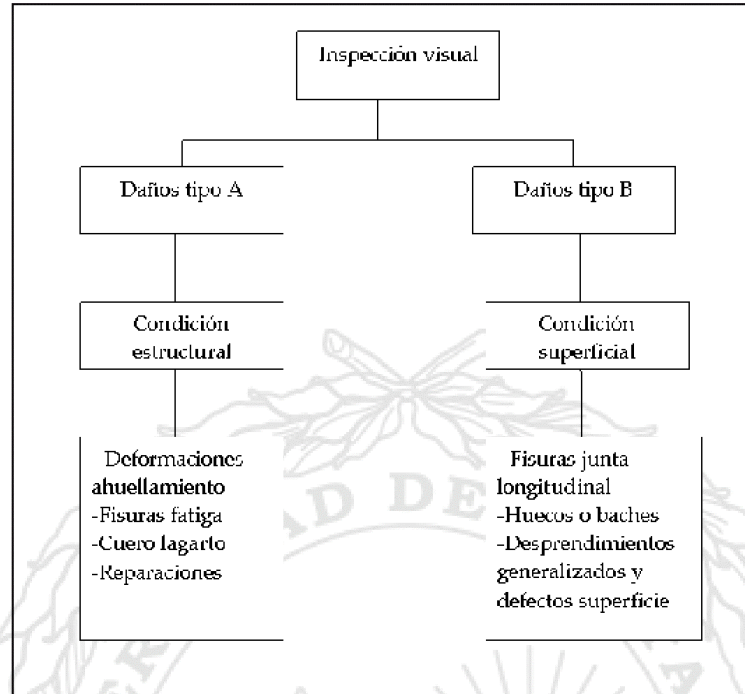
La evaluación consiste en la identificación y clasificación de los deterioros superficiales (visuales) de los pavimentos, que ocasionan que la circulación vehicular sea menos segura y confortable y que los costos de operación y tiempos de viaje sean mayores.

Para cuantificar los daños se puede realizar un levantamiento del deterioro que presentan las vías, utilizando la metodología VIZIR como herramienta, los daños se clasifican en dos categorías: a) Daños Estructurales, b) Daños Superficiales.

Dicha metodología se fundamenta en la auscultación visual. Se recomienda contar con un catálogo fotográfico de toda la RVC cada 50 metros, que incluya la superficie de rodamiento la vía y un archivo fotográfico de los drenajes. Esto puede servir como insumo para analizar condición funcional de toda la RVC y su evolución con el tiempo. La metodología VIZIR además de basarse en tipos de daños estructurales (Tipo A) y superficiales (Tipo B), contempla la gravedad y dimensión del daño.

La metodología se fundamenta en el siguiente esquema de clasificación de deterioros.





**Figura 9.** Esquema de inspección visual en metodología VIZIR.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

La Figura 10 presenta un esquema para determinar los diferentes niveles de gravedad de los distintos tipos de deterioros superficiales (Tipo B), los deterioros tipo A se determinan con criterios similares a los utilizados para evaluar los deterioros estructurales.

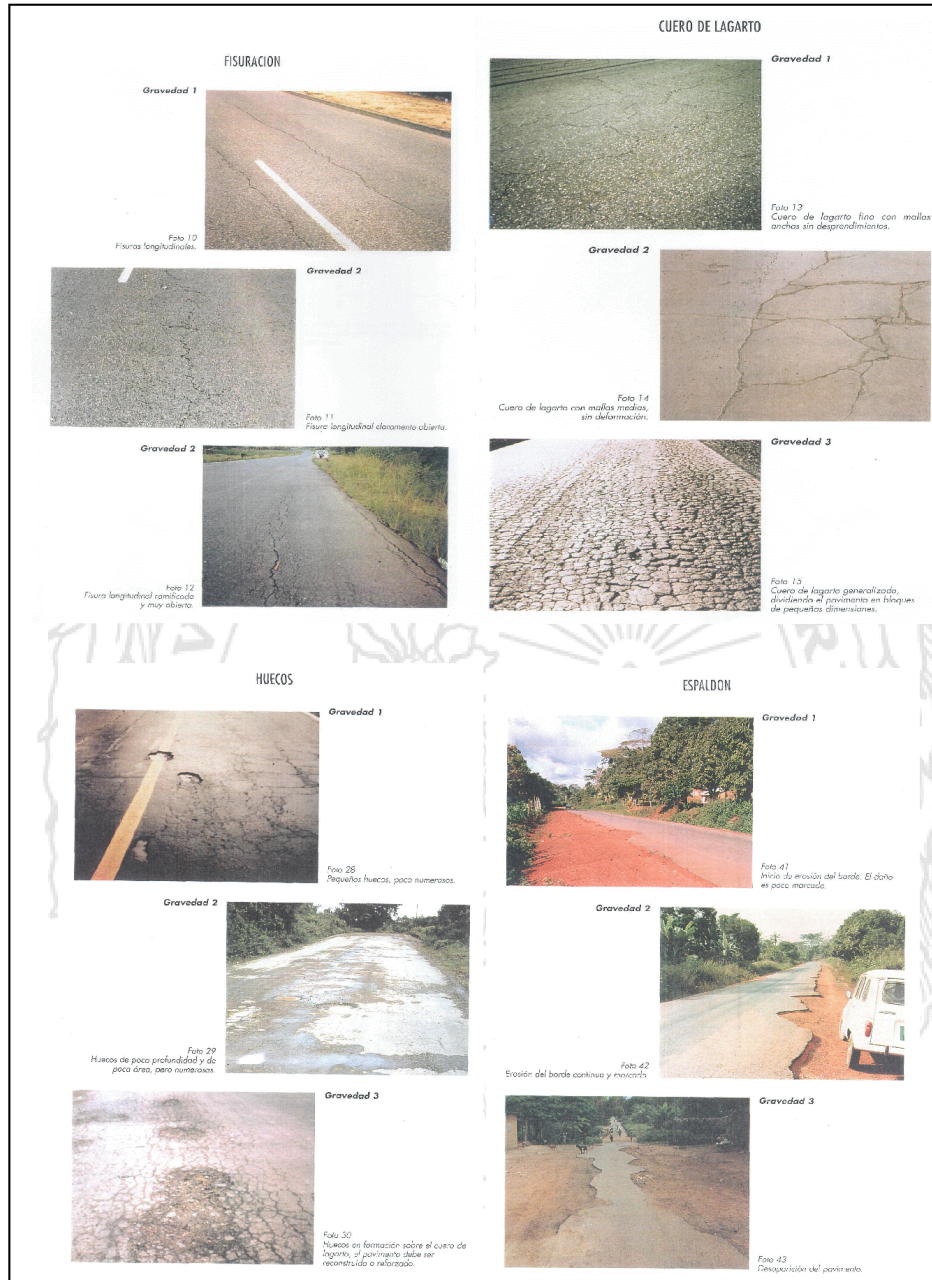
<b>NIVELES DE GRAVEDAD DE LOS DETERIOROS DEL TIPO B</b>				
<b>DETERIORO</b>	<b>NIVEL DE GRAVEDAD</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>		<b>3</b>
Grieta longitudinal de junta de construcción	Fina y única	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ancha (10 mm o más) sin desprendimiento o</li> <li>Fina ramificada</li> </ul>		Ancha con desprendimientos o ramificada
Grietas de contracción térmica	Fisuras finas	Anchas sin desprendimientos, o finas con desprendimientos o fisuras ramificadas		Anchas con desprendimientos
Grietas parabólicas	Fisuras finas	Anchas sin desprendimientos		Anchas con desprendimientos
Grietas d borde	Fisuras finas	Anchas sin desprendimientos		Anchas con desprendimientos
<b>Abultamientos</b>	F < 20 mm		20 mm ≤ F ≤ 40 mm	F > 40 mm
Ojos de pescado* (por cada 100 metros)	cantidad	< 5		> 10
	Diametro (mm)	≤ 300	≤ 300    ≤ 1000	≤ 300    ≤ 1000
Desprendimientos: • Perdida de pel cula de ligante • Perdida de agregados	Perdidas aisladas		Perdidas continuas	
Descascaramiento	Prof. (mm)	≤ 25	≤ 25    > 25	> 25
	Area (m <sup>2</sup> )	≤ 0.8	> 0.8    ≤ 0.8	> 0.8
<b>Pulimento agregados</b>	No se definen niveles de gravedad			
Exudación	Puntual	Continua sobre la banda de rodamiento		Continua y muy marcada
Afloramientos: • de mortero • de agua	Localizados y apenas perceptibles	Intensos		Muy intensos
Desintegración de los bordes del pavimento	Inicio de la desintegración	La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más		Erosión extrema que conduce a la desaparición del revestimiento asfáltico
Escalonamiento entre calzada y berma	Desnivel de 10 a 50 mm	Desnivel entre 50 y 100 mm		Desnivel superior a 100 mm
Erosión de las bermas	Erosión incipiente	Erosión pronunciada		La erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios

\* Cuando el número de ojos de pescado supere el número y el tamaño descritos en la tabla, se deberán enfrentar como deterioros del tipo A

**Figura 10.** Niveles de gravedad de deterioros Tipo B.

Fuente: Guía Metodológica para el diseño de obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras.

Las siguientes imágenes muestran ejemplos de daños superficiales, con los respectivos índices de gravedad, acorde con la metodología VIZIR.

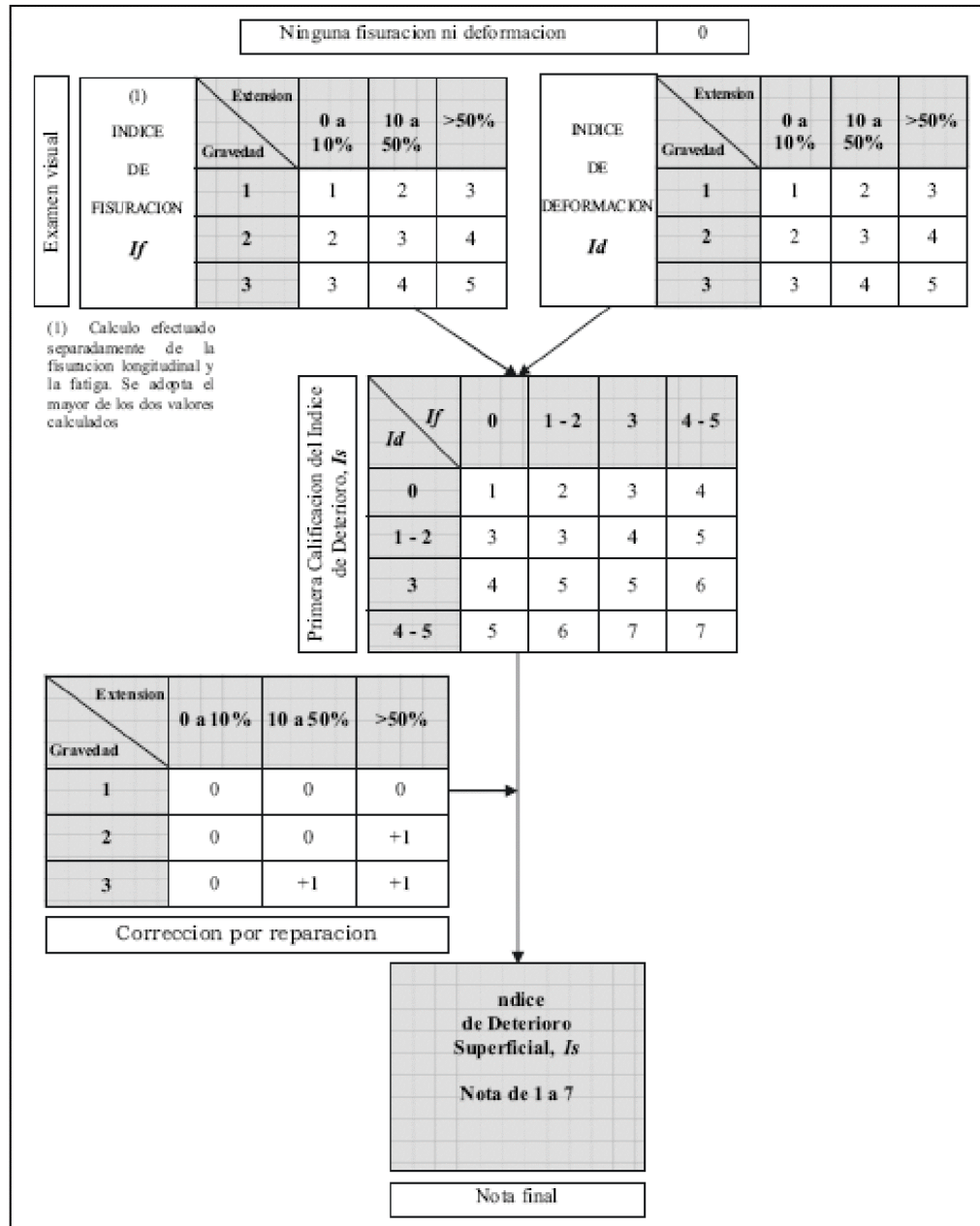


**Figura 11.** Ejemplos de daños superficiales con metodología VIZIR.

Fuente: Autret, 1996.



La metodología VIZIR cuenta con dos índices: índice de deformación e índice de fisuración. En la Figura 12 se observa la tabla que permite determinar el índice de deterioro superficial a partir del índice de deformación y fisuración.

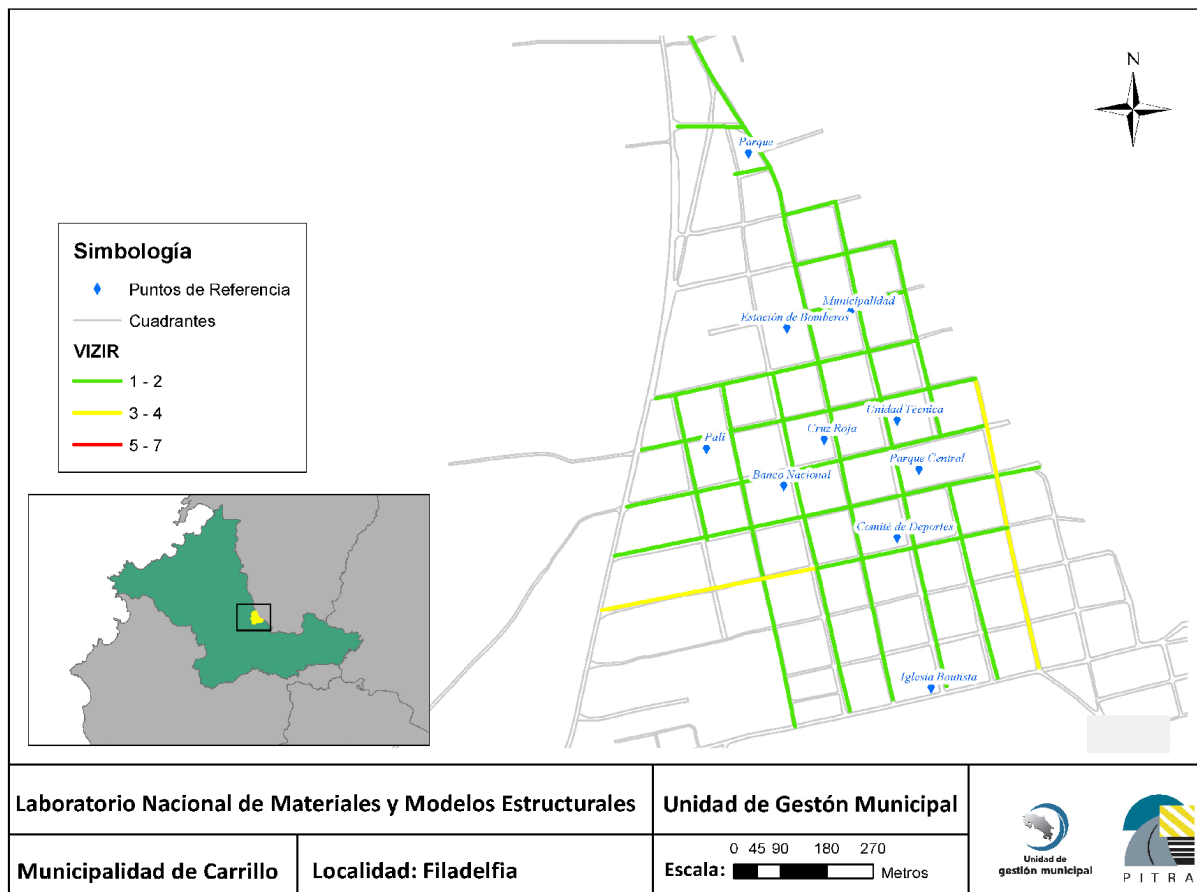


**Figura 12.** Ejemplos de daños superficiales con metodología VIZIR.

Fuente: Autret, 1996.

El Índice de Deterioro sobre la red vial pavimentada fue evaluado por miembros de la UTGV de la Municipalidad de Carrillo, esta información fue procesada en las instalaciones del LanammeUCR, pero esta evaluación no fue verificada por miembros del LanammeUCR, lo anterior en razón de los recursos disponibles y el plan de trabajo previamente definido, el cual fue acordado en dichos términos.

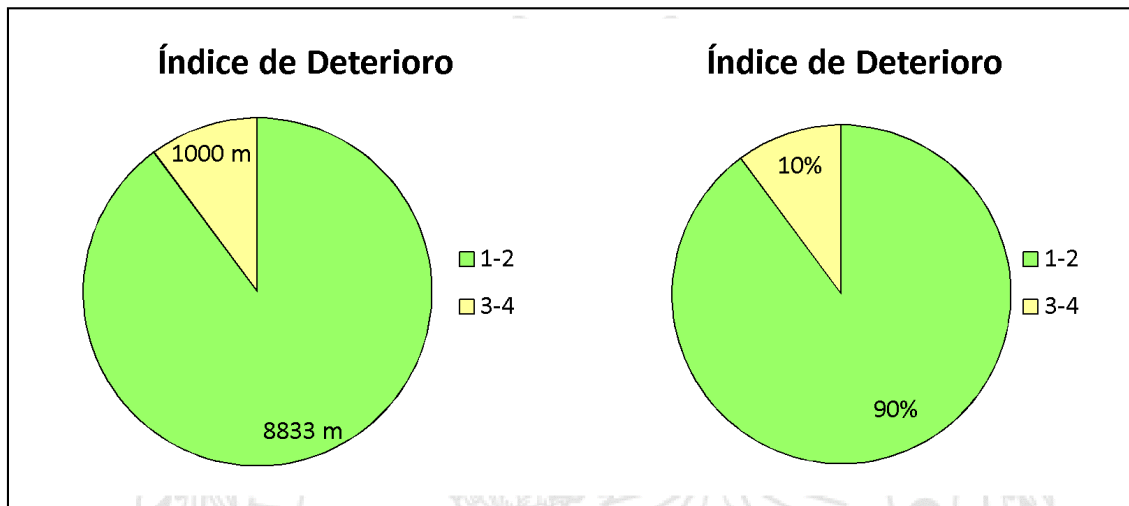
La evaluación se realizó sobre las rutas primarias, secundarias y terciarias seleccionadas, sobre una longitud aproximada de 30 km, en la siguiente imagen se muestra el Índice de Deterioro obtenido para lo localidad de Filadelfia (9 km).



**Figura 13.** Evaluación de deterioro superficial por medio de VIZIR en Filadelfia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Se observa que para la localidad de Filadelfia, el Índice de Deterioro, producto de las evaluaciones realizadas por el personal de la Municipalidad de Carrillo, se ubica en su mayoría con valores entre 1 y 2, que en términos generales corresponde a una condición superficial buena, específicamente un 90 % de los 9833 m (ver Figura 14) analizados por la UTGV en Filadelfia presentan esta condición, mientras que aproximadamente 1000 m presentó una condición regular.



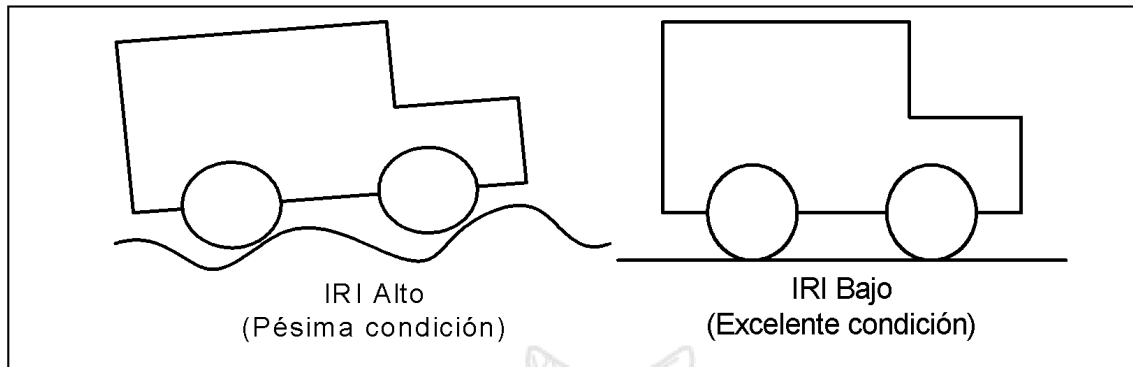
**Figura 14.** Distribución porcentual del Índice de Deterioro para la localidad de Filadelfia. (Información recopilada por UTGV Carrillo, 2010)

Fuente: LanammeUCR, 2012.

### 3.2.3.2 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 15.



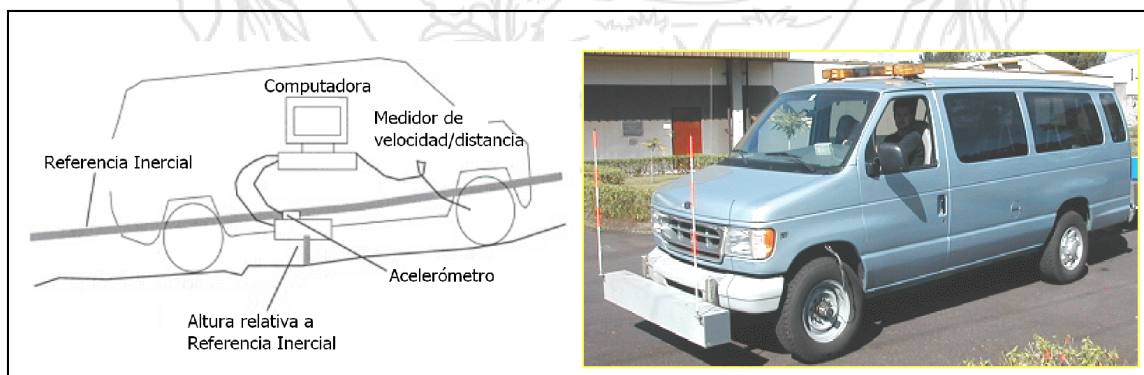
**Figura 15.** Representación física del Índice de Rugosidad Superficial.

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.

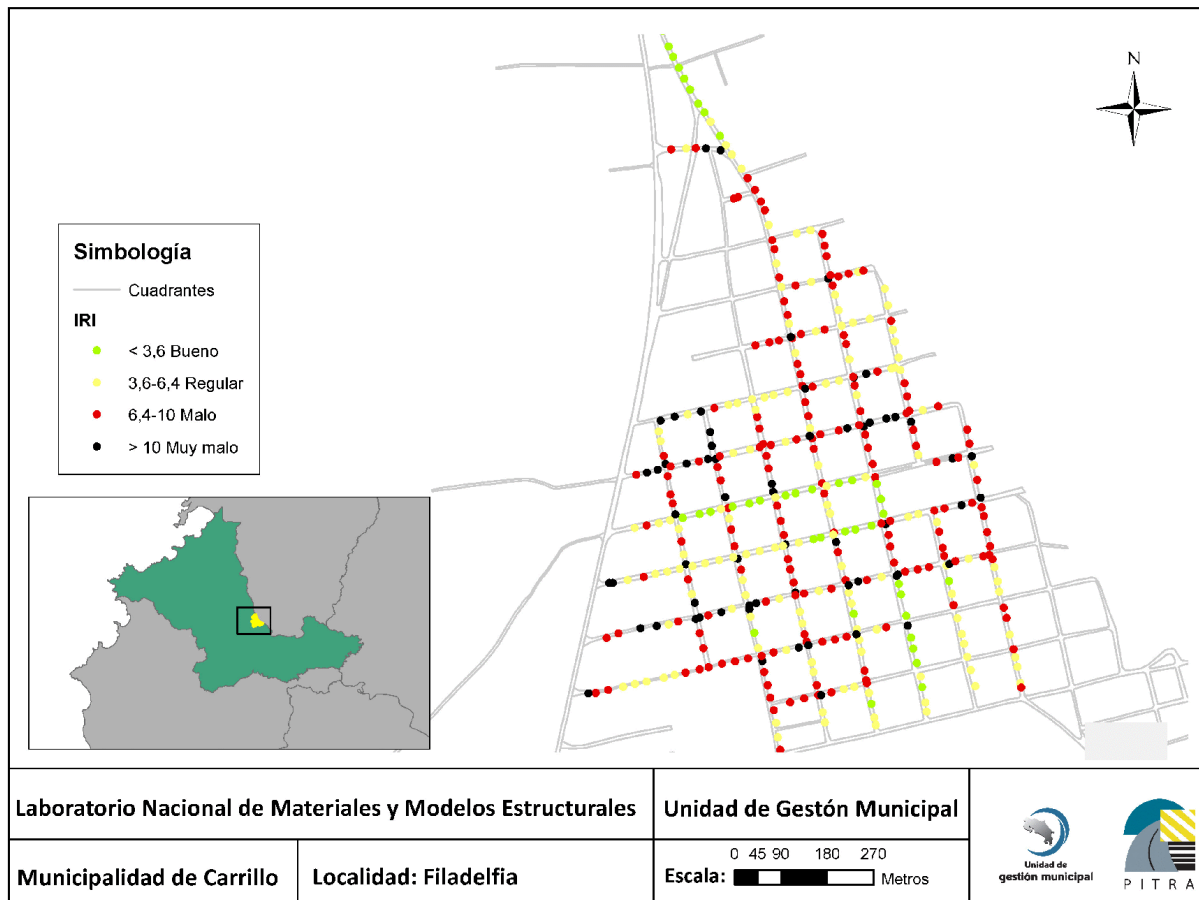
El equipo Perfilómetro Inercial Láser propiedad del LanammeUCR mide la distancia del suelo al vehículo con un medidor láser ubicado en la parte de adelante del vehículo. A continuación se muestra un esquema del funcionamiento del equipo y una imagen del equipo.



**Figura 16.** 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 junio del 2010 abarcando todas las Rutas primarias, secundarias y terciarias contempladas en el convenio, sobre una longitud aproximada de 43 km, en la siguiente figura se muestran estas mediciones para la localidad de Filadelfia que abarca aproximadamente 12 km. 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.

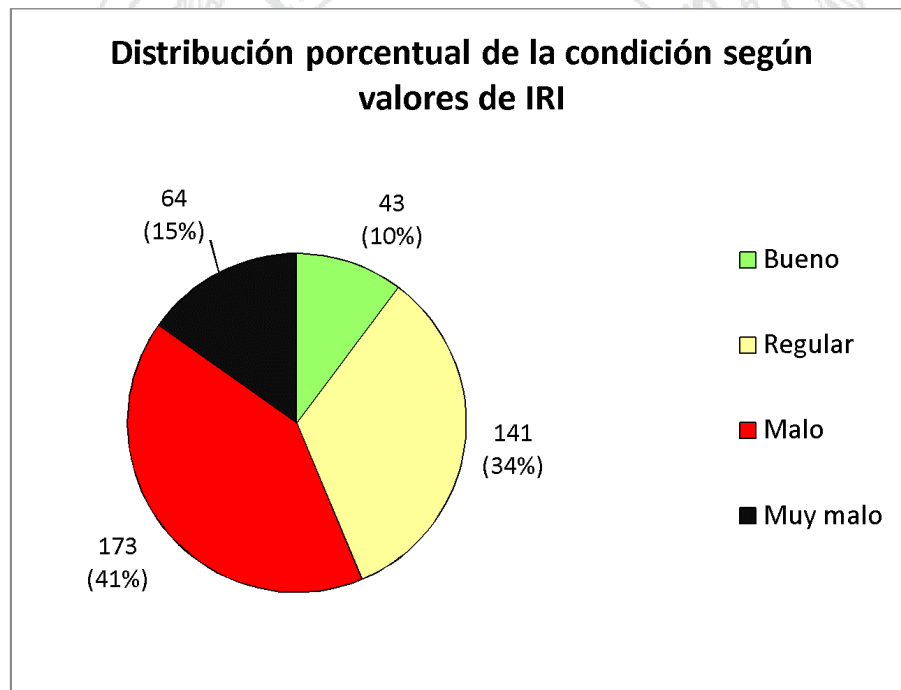


**Figura 17.** Condición del IRI para las mediciones realizadas.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la Figura 18 se observan los porcentajes asociados a cada condición, según las mediciones de IRI en la localidad de Filadelfia. En las mediciones realizadas más del 55% presenta valores de IRI superior a 6,4 m/km, lo cual indica que es una superficie de ruedo con bajo nivel de confort y con altos gastos de operación para los vehículos que la transitan. Por otro lado, únicamente un 10% de las mediciones realizadas se pueden clasificar con condiciones aceptables de regularidad superficial (menores a 3,6 m/km).

Las mediciones del IRI realizadas en la localidad de Filadelfia no están acorde a las evaluaciones realizadas con la metodología VIZIR, esto puede deberse a algún tipo de sesgo o error de medición.



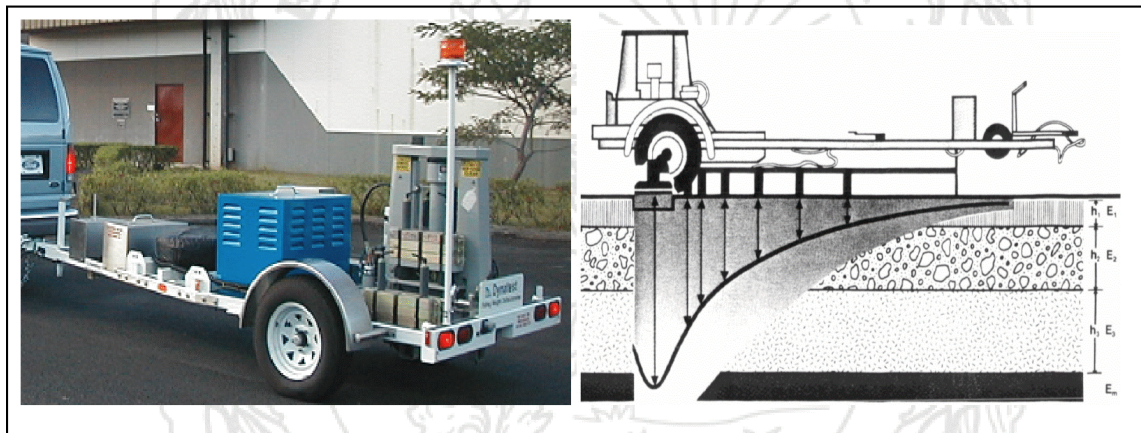
**Figura 18.** Distribución porcentual de la condición según el IRI para las mediciones realizadas en Junio de 2010.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

### 3.2.4 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 ante las cargas.

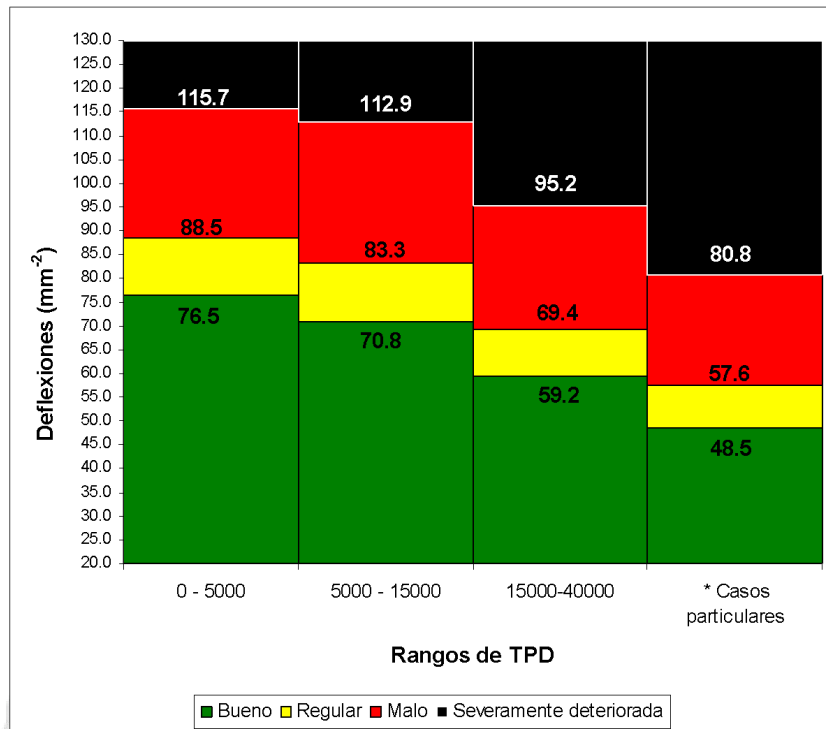
Las mediciones se realizaron con el equipo Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés), tomando mediciones cada 50 metros durante el mes de Junio del 2010. El procedimiento consiste en dejar caer una carga de impacto estándar sobre el pavimento y medir las deflexiones en nueve puntos, con diferentes distancias con respecto al punto donde se aplicó la carga. A continuación se muestran dos imágenes con el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.



**Figura 19.** 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 20 se presentan los rangos de deflectometría obtenidos para una estructura de pavimento con base granular.

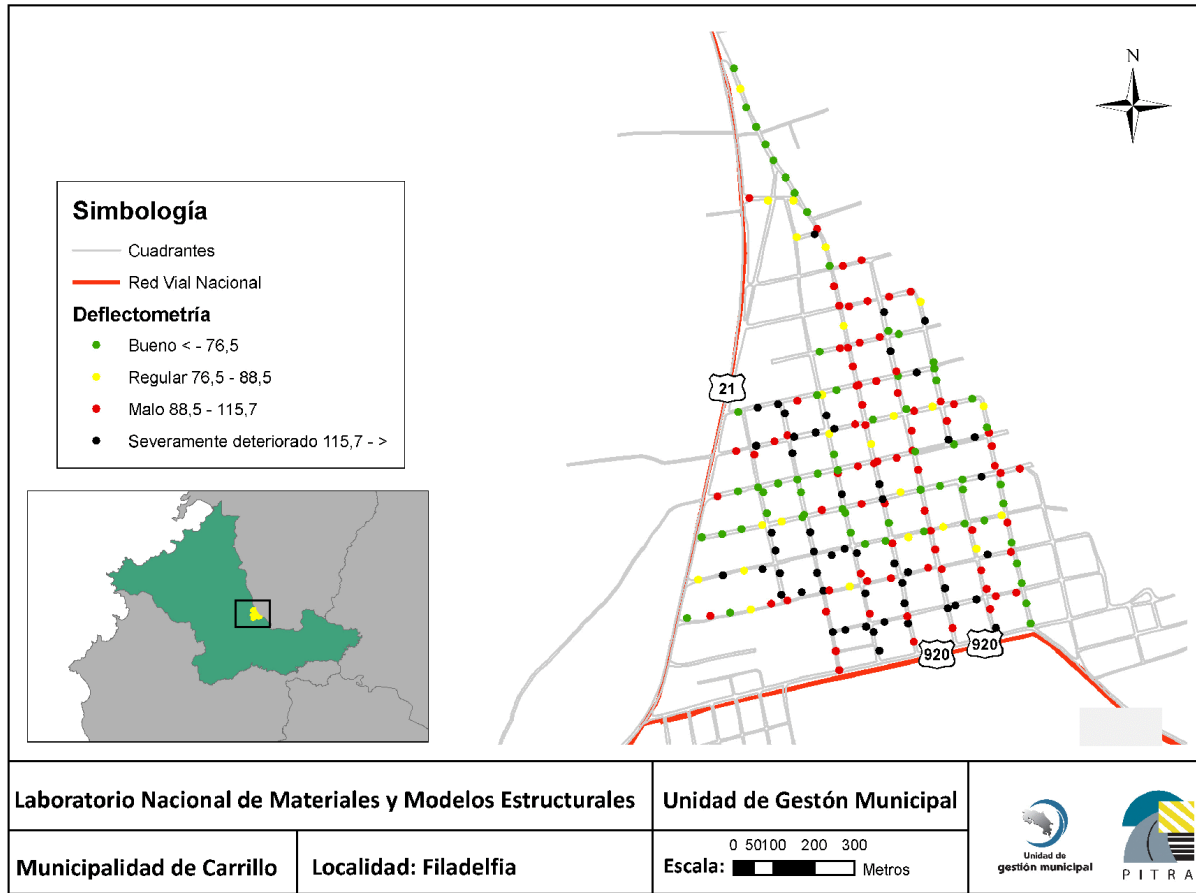


**Figura 20.** Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base granular.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

En la Figura 21 es posible observar que en términos generales las mediciones de la capacidad estructural en Filadelfia, se encuentran dentro del rango de regular a mala. El detalle de la distribución porcentual de las mediciones se puede observar en la Figura 22, donde poco más de la mitad de las mediciones realizadas indican un nivel de deterioro importante por otra parte solo un 32% de las mediciones realizadas corresponden una condición estructural buena.

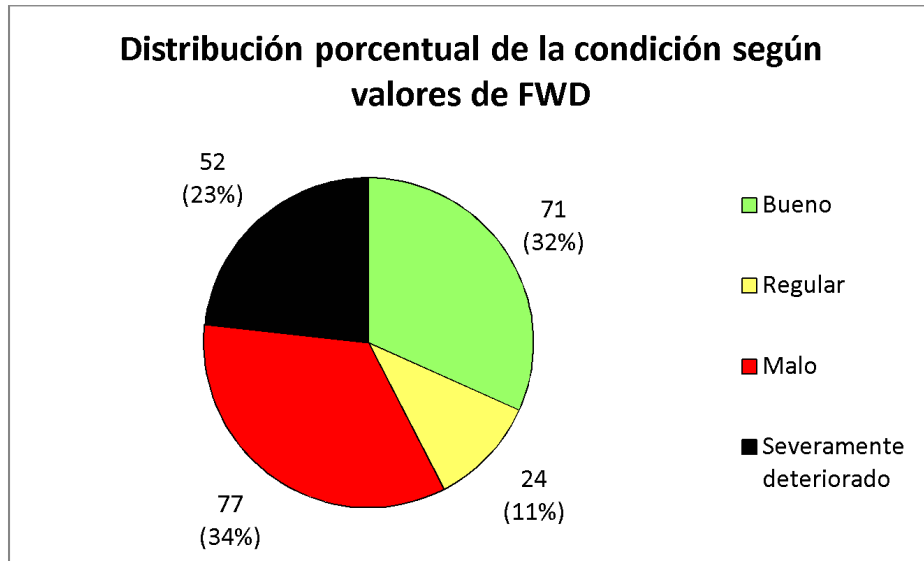




**Figura 21.** Condición del FWD para las mediciones realizadas en Junio del 2010.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Las mediciones del FWD realizadas en la localidad de Filadelfia no están acorde a las evaluaciones realizadas con la metodología VIZIR, esto puede deberse a algún tipo de sesgo o error de medición.

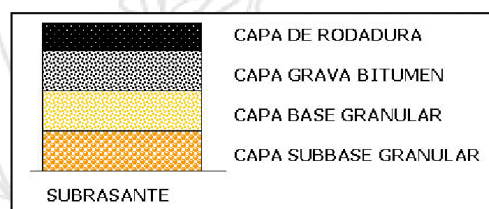


**Figura 22.** Distribución porcentual de la condición según FWD para las mediciones realizadas.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

### 3.2.5 Caracterizar la estructura del pavimento

En esta sección se determina la estructura y el tipo materiales que componen el pavimento. La Figura 23 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 23.** Ejemplo de estructura de pavimento.

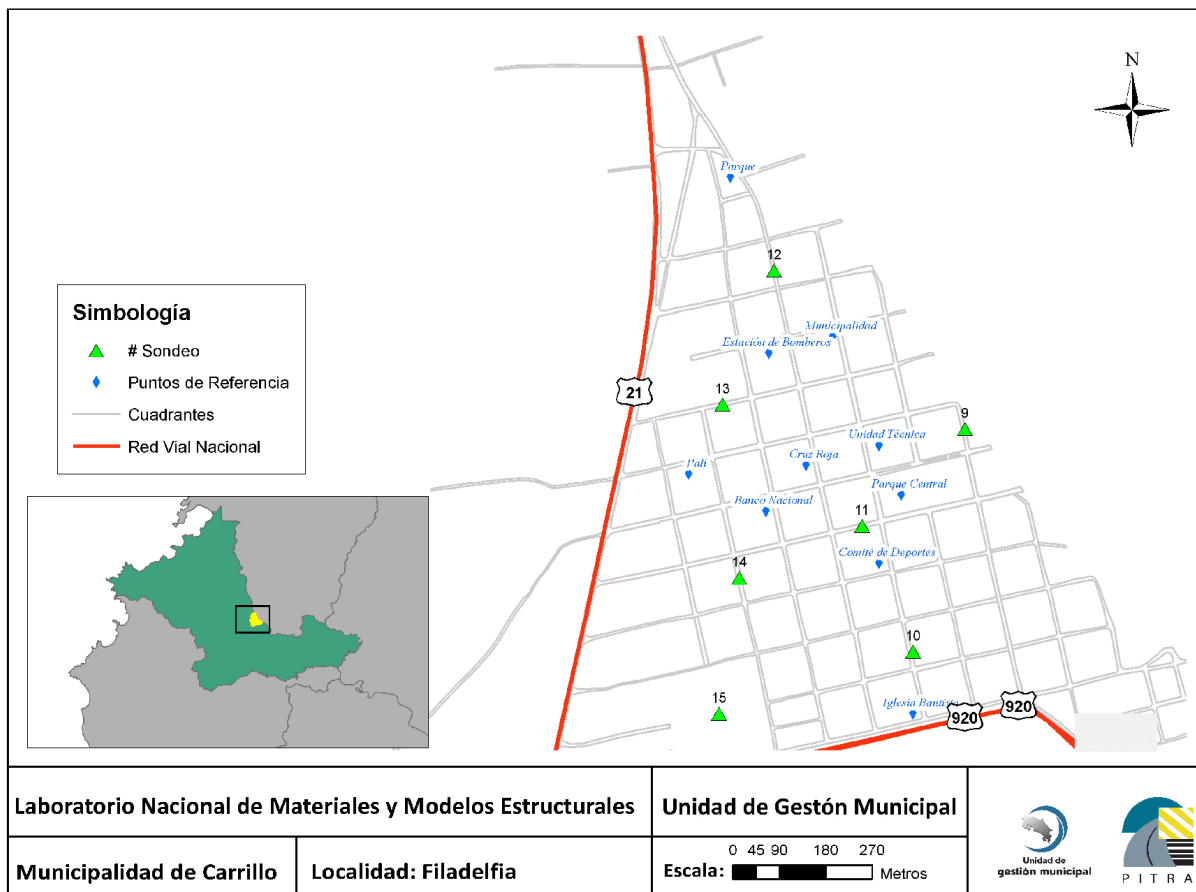
La caracterización consiste en diversos ensayos de laboratorio y ensayos en campo. Se dividen en tres grupos:

1. Estructura del pavimento.
2. Caracterización de la sub-rasante
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 las vías principales de la RVC. El Cuadro 1 muestra los datos obtenidos por el LanammeUCR a partir de los sondeos realizados. Además en la siguiente figura se observa la ubicación de los sondeos.



**Figura 24.** Ubicación de los sondeos realizados en la localidad de Filadelfia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.



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

Sondeo	CA (cm)	BE (cm)	BG (cm)	SB (cm)
1	1,5	0,0	9,0	0,0
2	5,0	0,0	54,0	0,0
3	0,0	0,0	5,5	58,0
4	6,0	15,0	18,0	33,0
5	4,8	0,0	15,0	14,5
6	6,7	3,0	12,0	14,0
7	5,0	0,0	0,0	0,0
8	5,5	0,0	14,0	12,5
9	2,5	6,5	12,0	33,0
10	1,1	0,0	8,3	11,0
11	4,3	0,0	6,2	0,0
12	1,0	8,5	11,0	13,0
13	1,1	3,8	14,1	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0
15	1,0	0,0	6,0	13,0

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

CA: Capa asfáltica, tratamiento superficial o carpeta asfáltica.

BE: Base estabilizada.

BG: Base granular.

SB: Sub-base.

Pav: Espesor total de la estructura del pavimento.

### 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.

## 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  $\mu\text{m}$  (#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  $\mu\text{m}$  (#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  $\mu\text{m}$  (#200) y con una porción que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (#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.

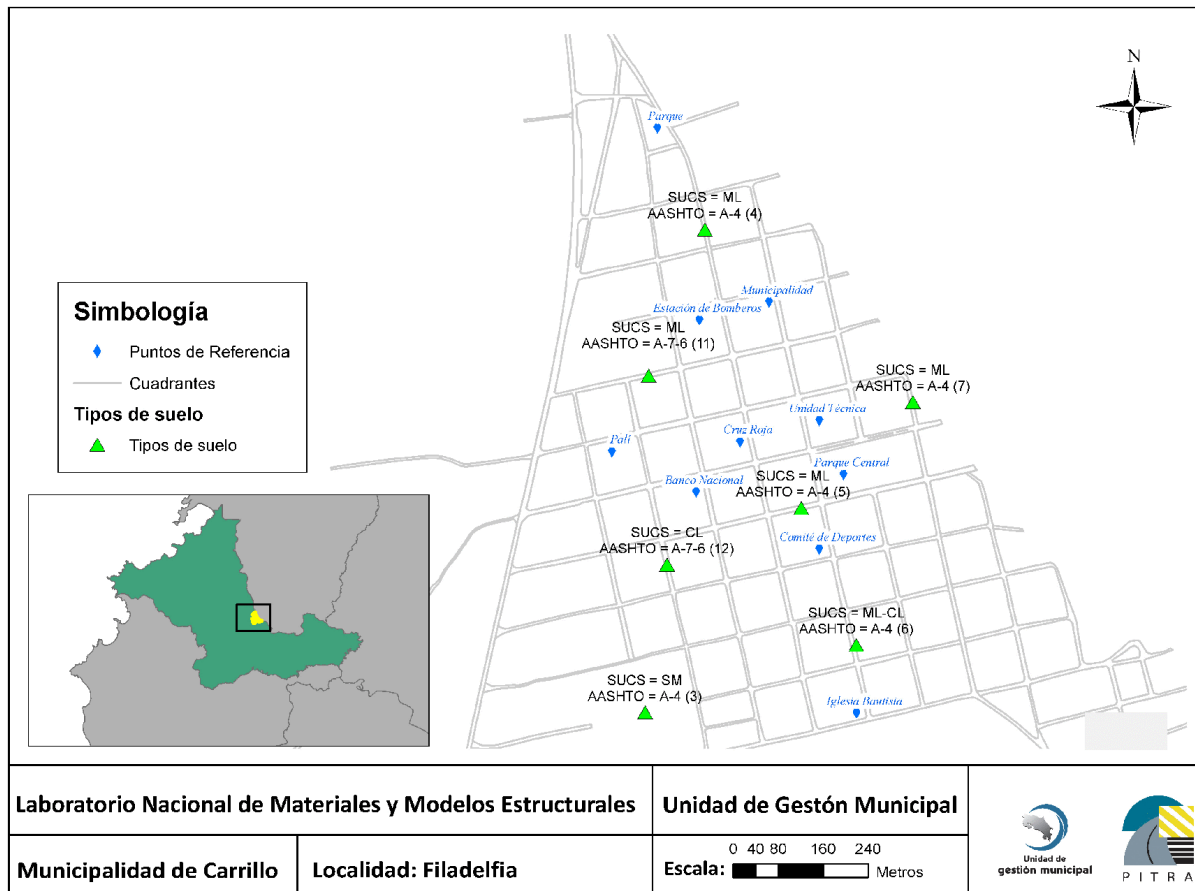


Material limo-arcilloso: contiene más de 35% de material que pasa la malla de 75  $\mu\text{m}$  (#200).

- 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  $\mu\text{m}$  (#200). Este grupo también incluye mezclas de suelo limoso fino y hasta 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#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  $\mu\text{m}$  (#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  $\mu\text{m}$  (#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 geográfica del tipo del suelo en la localidad de Filadelfia se presenta en la Figura 24, es posible apreciar que los suelos analizados están compuestos en su mayoría por material fino (CL-ML), principalmente arcillas y limos con un plasticidad media y en una menor parte por arenas mal graduadas.



**Figura 25.** Caracterización de la sub-rasante según SUCS y AASHTO.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

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





**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	99	98	88	70	1	29	70	42	23	CL	A-7-6 (11)
2	97	95	92	85	3	12	85	47	27	CL	A-7-6 (13)
3	93	78	52	33	7	60	33	36	24	SC	A-2-6 (0)
4	93	85	59	32	7	61	32	24	17	SM-SC	A-2-4 (0)
5	66	49	29	16	34	50	16	26	19	SM-SC	A-2-4 (0)
6	95	90	81	70	5	25	70	60	30	CH	A-7-6 (19)
7	98	95	87	61	2	37	61	44	36	ML	A5 (6)
8	96	93	82	46	4	50	46	27	20	SM-SC	A-4 (2)
9	99	98	96	70	1	29	70	29	24	ML	A-4 (7)
10	100	99	93	64	0	36	64	27	20	ML-CL	A-4 (6)
11	98	98	96	58	2	40	58	26	23	ML	A-4 (5)
12	100	98	92	54	0	46	54	21	19	ML	A-4 (4)
13	99	99	98	90	1	9	90	43	28	ML	A-7-6 (11)
14	97	95	91	76	3	21	76	42	24	CL	A-7-6 (12)
15	100	99	91	49	0	51	49	38	33	SM	A-4 (3)

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 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:

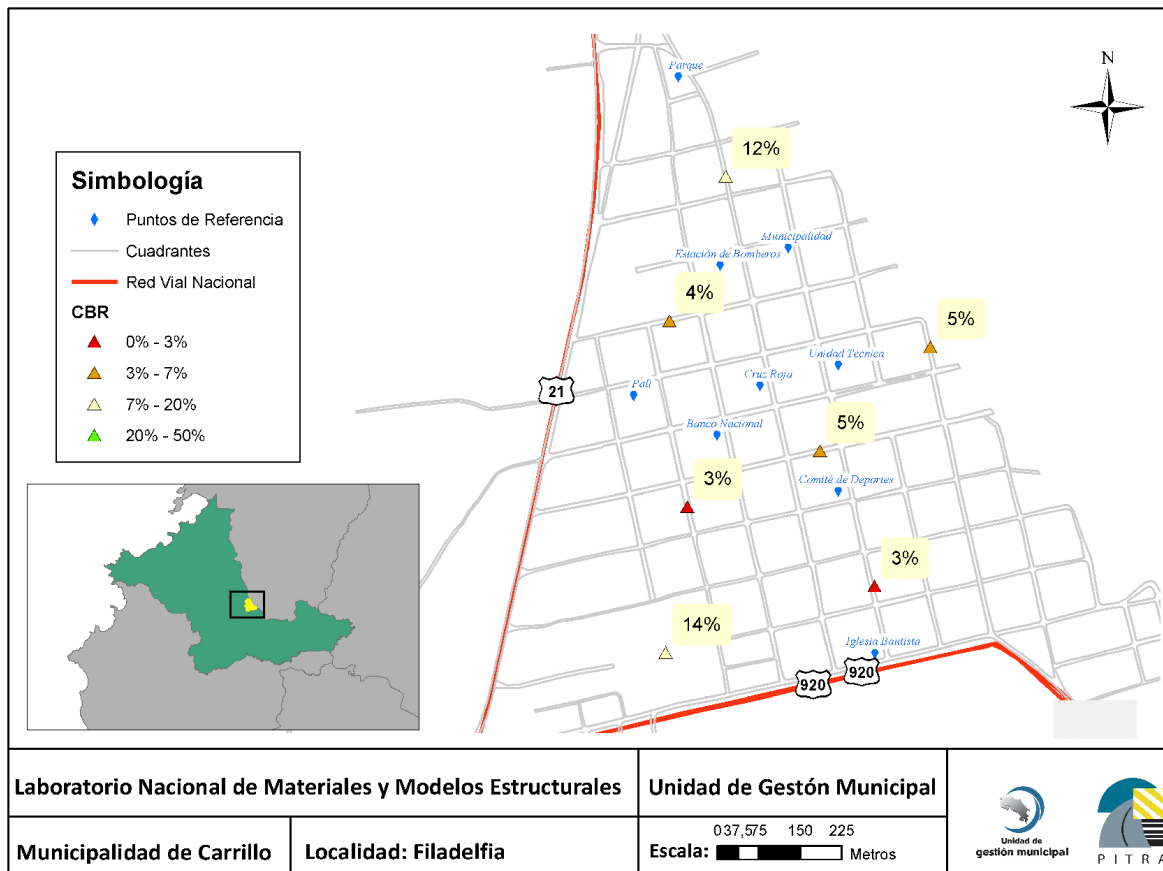
- a y b son coeficientes asociados al tipo de suelo según la clasificación del suelo SUCS.
- CI es el índice del cono.

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

**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.**

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Se observa en la Figura 27, que 5 de los 7 sondeos en la localidad de Filadelfia presentaron un CBR menor a 7%, lo que indica que son suelos con una resistencia de pobre a regular, mientras de que 3 sondeos poseen valores inferiores o iguales al 4%, estos son suelos de muy baja resistencia. Por otro lado los sondeos 15 y 12 presentaron valores entre en 7% y 20%. En el siguiente cuadro se puede observar en detalle las pruebas de CBR en sitio, los ensayos realizados en Filadelfia se encuentran marcados en color verde.

**Cuadro 4.** Índice de resistencia CBR.

Sondeo	CI	a	b	CBR
1	129,1	0,1266	0,6986	3,8%
2	196,4	0,1266	0,6986	5,1%
3	141,6	1,1392	0,4896	12,9%
4	158,6	1,1392	0,4896	13,6%
6	195,1	0,1264	0,6979	5,0%
7	189,2	0,1111	0,7390	5,4%
8	118,3	1,1392	0,4896	11,8%
9	176,6	0,1111	0,7390	5,1%
10	124,7	0,1305	0,6776	3,4%
11	152,5	0,1111	0,7390	4,6%
12	537,2	0,1111	0,7390	11,6%
13	108,9	0,1111	0,7390	3,6%
14	105	0,1266	0,6986	3,3%
15	178,1	1,1392	0,4896	14,4%

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 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 Carrillo se obtuvieron 81 tramos homogéneos a partir de aproximadamente 43 km evaluados, a continuación se tabula el número de tramo y la longitud aproximada en metros para los tramos ubicados en la localidad de Filadelfia, que corresponde a 28 tramos y una longitud aproximada de 12 km, además en la Figura 28 se muestra su ubicación en la red.

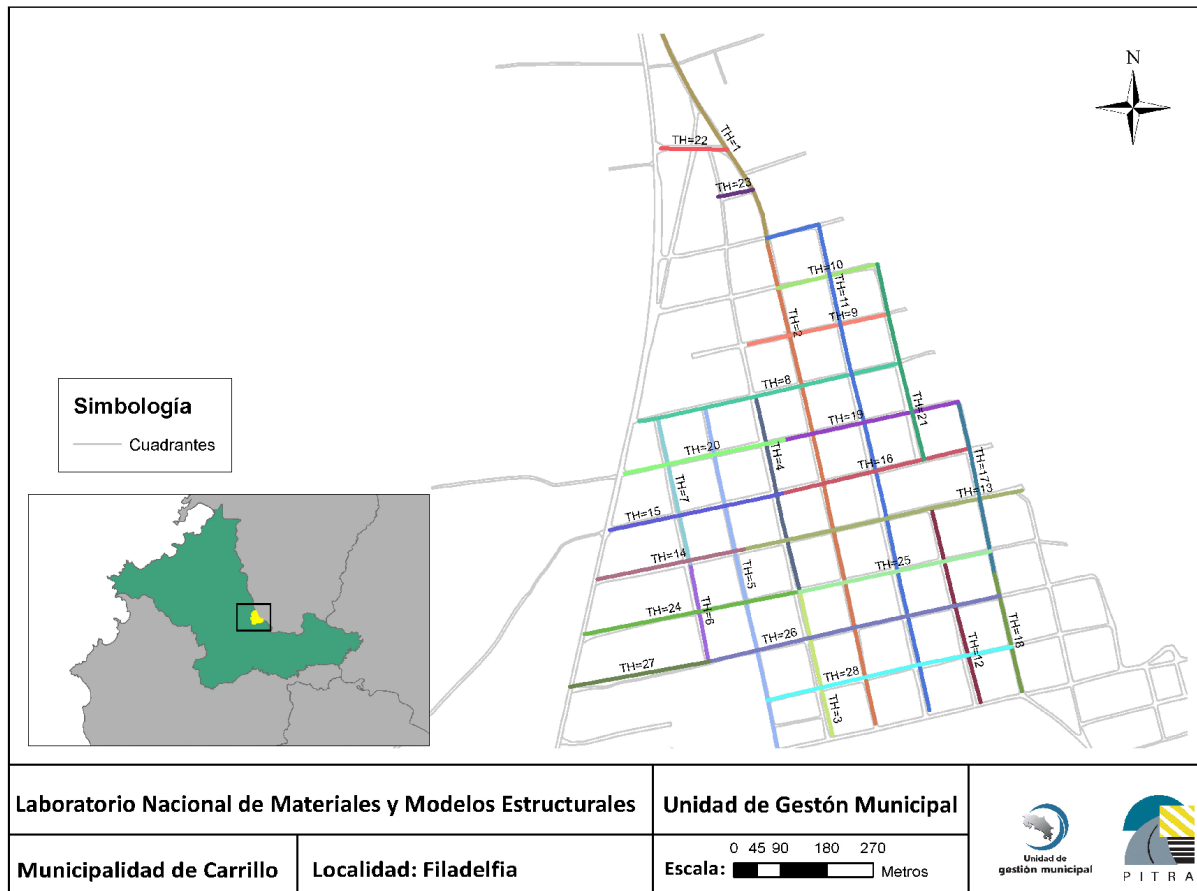
**Cuadro 5.** Longitud de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Filadelfia.

ID	Longitud (m)
1	610
2	948
3	292
4	382
5	675
6	194
7	288
8	519
9	278
10	199
11	1070
12	388
13	552
14	290
15	350
16	367
17	340
18	234
19	347
20	315

**Cuadro 5.** Longitud de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Filadelfia (cont.)

ID	Longitud (m)
21	389
22	128
23	69
24	426
25	378
26	580
27	273
28	485

Fuente: LanammeUCR, 2012.



**Figura 28.** Ubicación de los diferentes tramos homogéneos ubicados en Filadelfia.

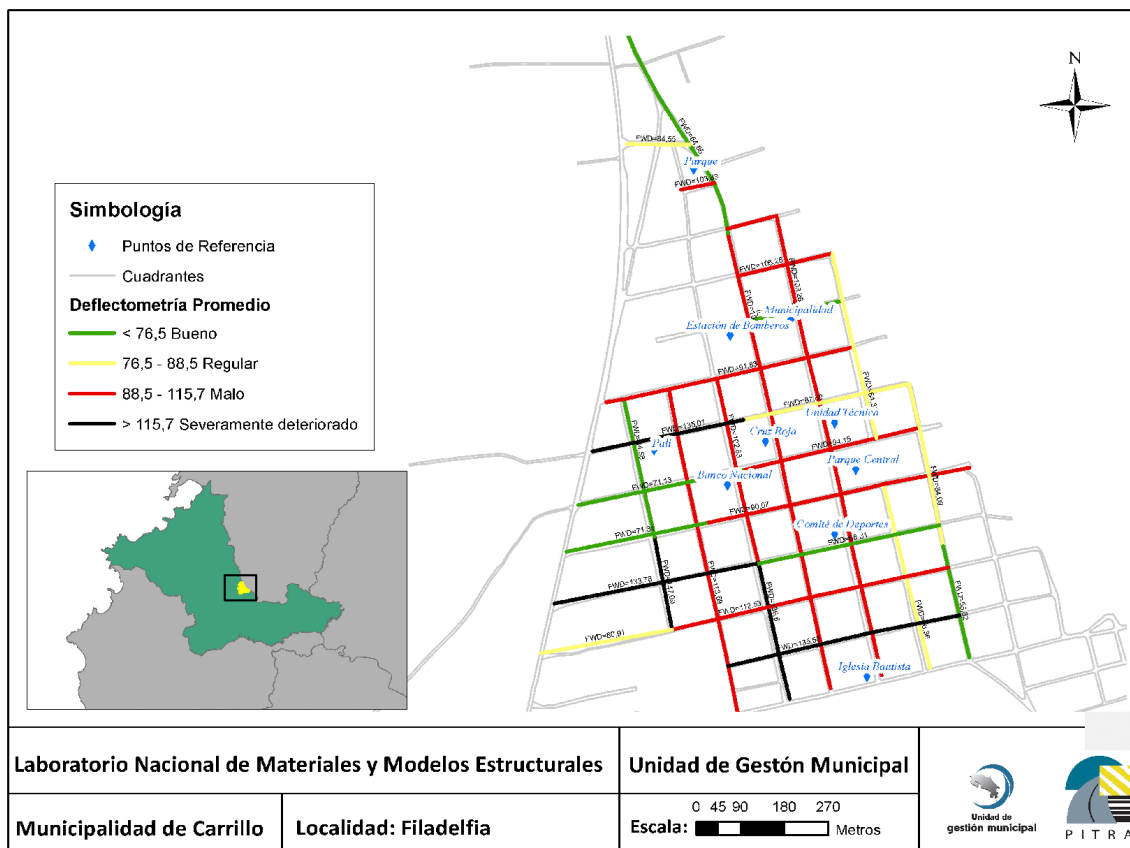
Fuente: LanammeUCR, 2012.

Es importante aclarar que aunque los valores promedio asociados a cada tramo ofrecen una idea de la condición general del mismo, no es un valor representativo de las condiciones reales del tramo, ya que a cada tramo se le asocia cierta dispersión producto de la variabilidad de la evaluación del IRI o la deflectometría.

### 3.2.6.1 Deflexión Promedio

Para categorizar el estado estructural de cada tramo homogéneo también se utiliza la clasificación que se presenta en la Figura 20, donde se consideran diferentes rangos de deflectometría según el TPDA de las vías y el tipo de estructura (pavimento con base granular o estabilizada).

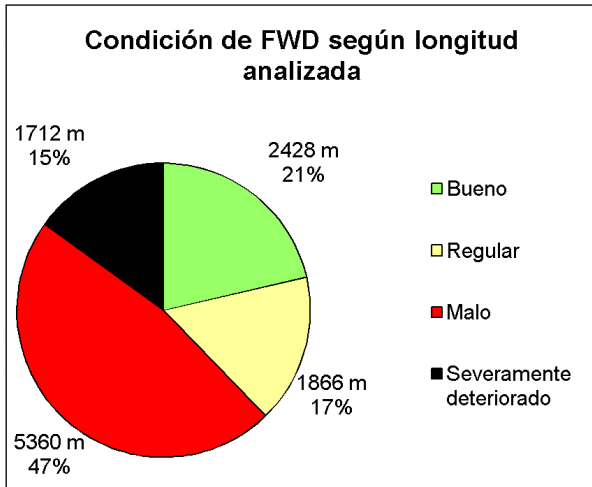
En la siguiente figura se muestra de manera gráfica la caracterización de la red evaluada, según los valores promedio de las deflexiones.



**Figura 29.** Deflectometría promedio de las vías analizadas en Filadelfia.

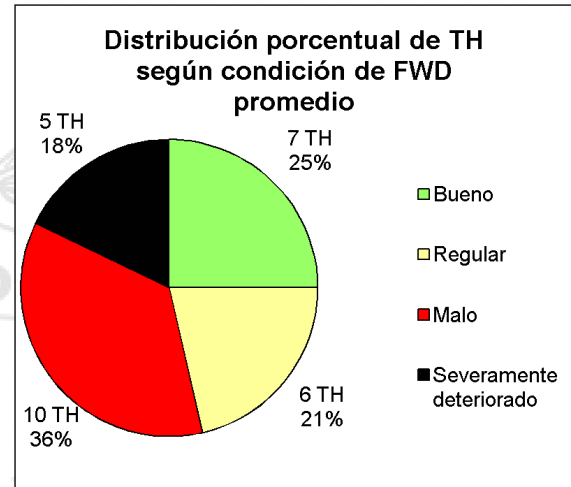
Fuente: LanammeUCR, 2010.

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 las figuras 30 y 31.



**Figura 30.** Porcentaje de metros clasificados según FWD promedio.

Fuente: LanammeUCR, 2012.



**Figura 31.** Porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el FWD promedio.

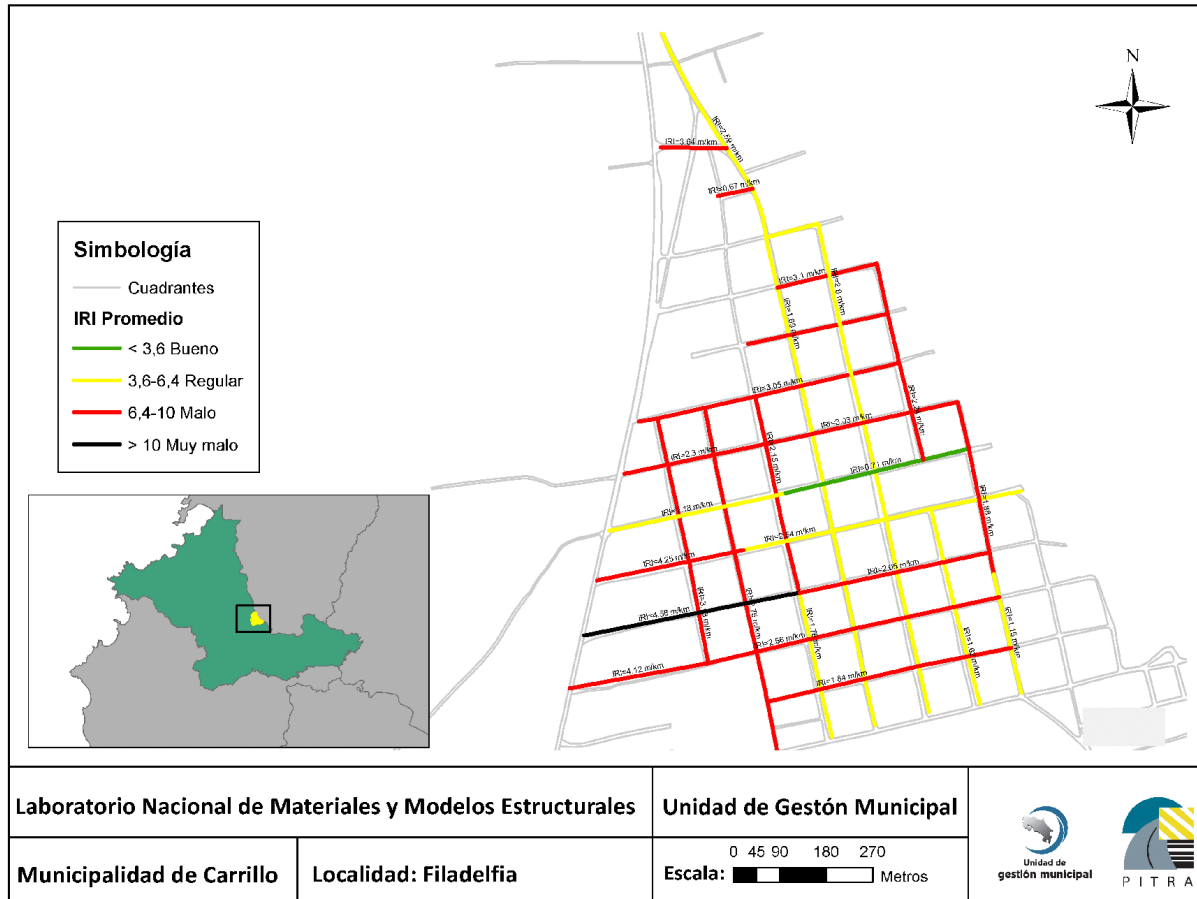
Fuente: LanammeUCR, 2012.

En las figuras anteriores es posible observar que más del 60% de los kilómetros evaluados poseen una estructura del pavimento con un nivel de deterioro importante, por lo tanto deficiente capacidad para soportar las cargas de tránsito a las que se ve sometida. Por otro lado, es importante rescatar que cerca del 21% (ver Figura 30) cuenta con una buena capacidad estructural, lo que representa 2,4 km de las rutas evaluadas en Filadelfia.

### 3.2.6.2 IRI promedio

El análisis del  $IRI_{promedio}$  indica que las rutas en estudio presentan un deterioro importante del estado superficial, en la siguiente figura es posible visualizar la condición de IRI promedio para los diferentes tramos.



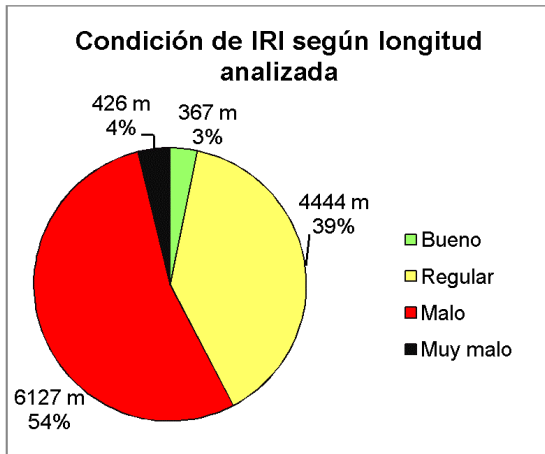


**Figura 32.** IRI promedio para las vías analizadas en Filadelfia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

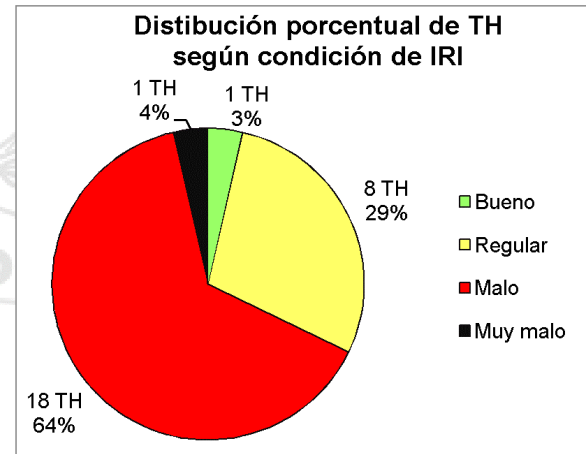
La distribución de la cantidad de tramos homogéneos y de los metros lineales asociados a cada categoría de IRI se muestra porcentualmente en las siguientes figuras. De los cuales se destaca que el 68% (ver Figura 34) de los tramos evaluados en Filadelfia poseen un IRI superior a 6,4 m/km, correspondiente a una vía con irregularidades importantes. La irregularidad en la superficie de ruedo implica un mayor costo de operación para los usuarios, mayor tiempo en el traslado y un viaje poco confortable sobre estos tramos, por otro lado ocasiona 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 poco más del 40% (ver Figura 33) de la longitud evaluada en Filadelfia 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 33.** Porcentaje de metros clasificados según el IRI promedio.

Fuente: LanammeUCR, 2012.



**Figura 34.** Porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el IRI promedio.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

### 3.3 Notas Calidad

Con Base a las deflexiones promedio obtenidas para cada tramo y con el índice de daño promedio para cada tramo (al aplicar la metodología VIZIR proporcionado por miembros de la UTGVC), se puede realizar una clasificación de estos tramos y asignarles una respectiva “nota”, para poder describir de manera más simple el estado actual de la red vial y posibles ventanas de operación.

La metodología utilizada es la propuesta en el estudio “Desarrollo de herramientas de gestión, con base en la determinación de índices de red vial nacional” (UI-PI-04-08) desarrollado por la Unidad de Investigación del LanammeUCR durante el año 2008. En el mismo se pueden encontrar una serie de cuadros que están en función, del tipo de base (granular o estabilizada) y TPD de la ruta analizada, donde se indican notas de calidad desde Q1 hasta Q9 y una clasificación especial con las notas QF-1, QF-2, QF-3, un ejemplo de este tipo de cuadro se pueden observar en la siguiente figura.

TPD 0-5000				
Deflexión $10^{-2}$ mm	<76,5 Clase 1	76,5-88,5 Clase 2	88,5-115,7 Clase 3	>115,7 Clase 4
Índice de daño superficial Is				
1-2 Poca o ninguna fisura o deformación	Q1	Q3	Q6	QF-1
3-4 Fisuras sin o con deformación. Deformaciones sin fisuras	Q2	Q5	Q8	QF-2
5-6-7 Fisuras y deformación	Q4	Q7	Q9	QF-3

**Figura 35.** Notas de Calidad para flujos vehiculares inferiores a 5000 vehículos y base granular.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

### 3.3.1 Definición de las notas de calidad

Q1, Q2, Q3: Los tramos con estas calificaciones poseen buenas características en términos generales, por lo que no se necesita una reparación importante, los trabajos en estas rutas deben estar enfocados al mantenimiento y preservación de las mismas, con el fin de impermeabilizar y mantener la condición superficial en buen estado.

Q4, Q5, Q6: Estos tramos se encuentran en una condición intermedia y es necesario verificar esta inconsistencia entre la capacidad estructural y la condición superficial producto del examen visual, para posteriormente reclasificar estas notas de calidad, según el siguiente cuadro.

**Cuadro 6.** Recalificación para tramos en condición intermedia.

Nota de calidad original	Nota de calidad a recalificar
Q4	Q2, Q7
Q5	Q3, Q7
Q6	Q3, Q8

Fuente: LanammeUCR, 2012.

Q7, Q8, Q9: Los tramos con estas calificaciones ameritan algún tipo de refuerzo estructural que estará en función de la vida remanente de las vías y el TPD.



QF-1: Estas rutas no presentan deterioros visibles importantes por lo que su condición superficial es buena, pero poseen deflexiones muy altas lo que indica una vida estructural remanente de 0, estas condiciones se asocian a trabajos recientes enfocados solo a mejorar su condición funcional, esta condición es poco duradera y requieren de una reconstrucción a mediano plazo.

QF-2: Estas rutas presentan deterioros visibles intermedios, con deflexiones muy altas que indican la pérdida total de vida estructural remanente. Estas condiciones se asocian a trabajos recientes enfocados solo a mejorar su condición funcional que ya presentan algún tipo de daño, estas rutas califican para una reconstrucción a corto plazo.

QF-3: Estas rutas poseen deterioros importantes a nivel funcional con deflexiones muy altas, indicando una vida remanente estructural de 0 y muchas dificultades para transitar en ellas, estas rutas califican para trabajos de reconstrucción inmediatos.

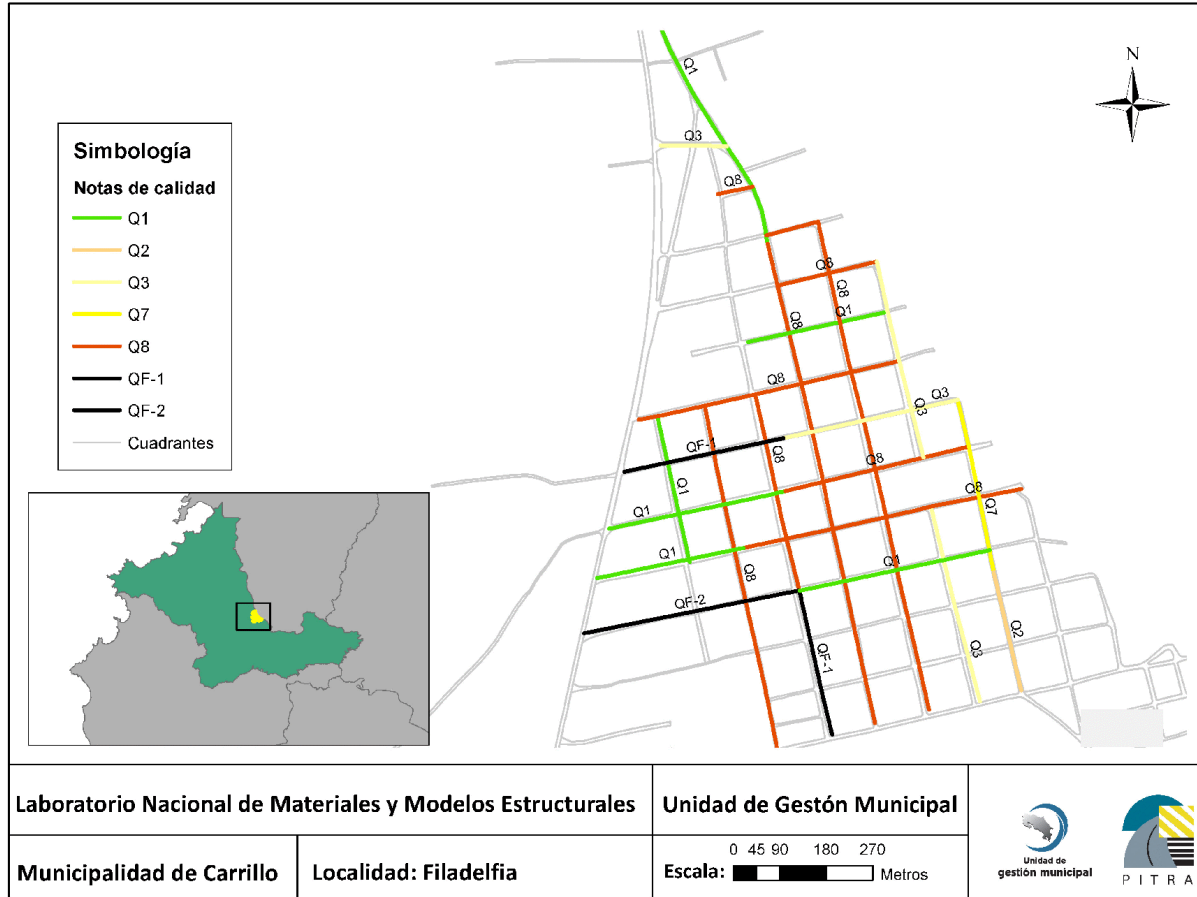
### 3.3.2 *Notas de calidad red vial analizada*

Las notas de calidad de calidad se asignaron siguiendo el procedimiento descrito anteriormente (sección 3.3.1) y se parte del hecho que las evaluaciones del índice de deterioro están acorde con los niveles de calidad requeridos, a continuación se muestra un mapa (ver Figura 36) con la clasificación de los diferentes tramos homogéneos en la localidad de Filadelfia. En el cuadro 7 puede observarse en detalle la clasificación para cada tramo homogéneo analizado en la localidad de Filadelfia y en la Figura 35 su distribución dentro de la red vial. Los tramos 6, 26, 27, 28, no poseen evaluación del índice de daño, por lo que no es posible asignar una nota de calidad pero pueden utilizarse los datos de IRI y FWD para asociarlos a una condición.

**Cuadro 7.** Nota de calidad asignada a cada de tramo analizado en la localidad de Filadelfia.

ID	Longitud (m)	Deflectometría promedio (mm <sup>-2</sup> )	IRI Promedio (m/km)	Índice de daño	Nota de calidad	Nota de calidad revisada
1	610	64,85	4,4	2	Q1	Q1
2	948	106,4	6,3	2	Q6	Q8
3	292	136,6	6,1	2	QF-1	QF-1
4	382	102,63	9,0	2	Q6	Q8
5	675	113,69	7,9	2	Q6	Q8
6	194	147,09	9,0	-	-	-
7	288	44,58	8,1	2	Q1	Q1
8	519	91,83	7,5	1	Q6	Q8
9	278	71,19	8,2	2	Q1	Q1
10	199	105,26	7,8	1	Q6	Q8
11	1070	103,26	6,1	2	Q6	Q8
12	388	86,36	5,4	2	Q3	Q3
13	552	90,07	5,1	2	Q6	Q8
14	290	71,31	7,0	2	Q1	Q1
15	350	71,13	4,0	1	Q1	Q1
16	367	94,15	3,2	1	Q6	Q8
17	340	84,09	7,9	3	Q5	Q7
18	234	55,82	6,1	3	Q2	Q2
19	347	87,69	9,2	2	Q3	Q3
20	315	135,01	9,1	2	QF-1	QF-1
21	389	84,31	6,7	2	Q3	Q3
22	128	84,55	9,2	2	Q3	Q3
23	69	103,83	7,0	1	Q6	Q8
24	426	133,78	10,1	4	QF-2	QF-2
25	378	68,31	8,5	2	Q1	Q1
26	580	112,53	8,8	-	-	-
27	273	80,91	7,6	-	-	-
28	485	135,58	7,7	-	-	-

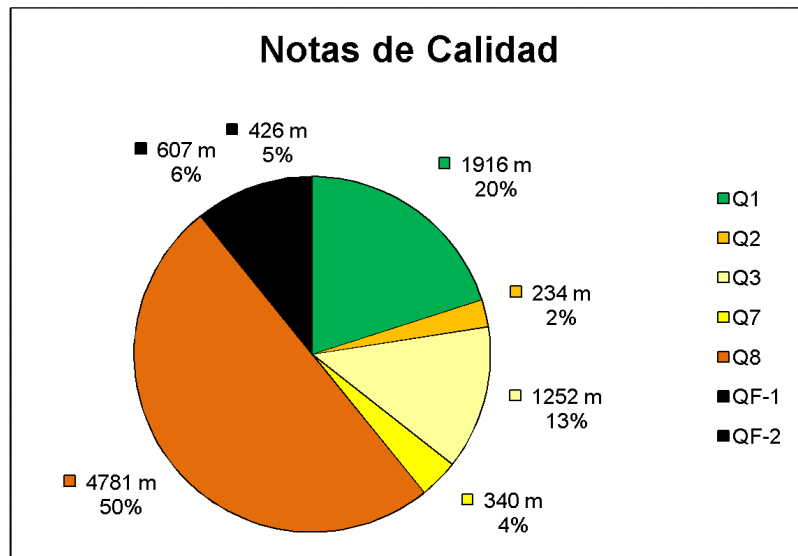
Fuente: LanammeUCR, 2012.



**Figura 36.** Notas de Calidad para los diferentes tramos homogéneos analizados en la localidad de Filadelfia.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

En la Figura 37 puede observarse la distribución porcentual de las diferentes notas de calidad asignadas, según datos de FWD promedio e índice de daño (VIZIR, facilitado por la UTGV de Carrillo).



**Figura 37.** Distribución de las diferentes notas de calidad asignadas.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

### 3.4 Tipos de intervención

De acuerdo con las notas de calidad presentadas en el cuadro 7, donde se resumen las características generales de cada tramo homogéneo, se puede determinar de manera general el tipo de intervención que requieren los diferentes tramos, considerando la condición superficial y estructural actual. En la Figura 38 se observa de manera gráfica el tipo de intervención propuesta para los diferentes tramos homogéneos analizados en la localidad de Filadelfia para el momento en que se realizaron las evaluaciones (**año 2010**). Es importante aclarar que solo las intervenciones de carácter estructural pueden mejorar la condición en la deflectometría y los trabajos enfocados a mejorar el IRI deben realizarse muy bien, de lo contrario no se obtendrían los resultados esperados.

Los tipos de intervención hacen referencia, a nivel general, al tipo de tratamiento que requiere cada tramo homogéneo los cuales se mencionan a continuación:

- **Mantenimiento:** aplicación de algún tipo de tratamiento superficial o sobrecapa no estructural, enfocada al sellado de grietas, impermeabilización o mejorar la condición funcional.

- **Refuerzo estructural:** aplicación de capas asfálticas sobre el pavimento existente. Es necesario realizar un diseño del refuerzo, como el método de la AASHTO 93, para determinar el espesor necesario, López (2009).
- **Reconstrucción:** consiste en el reemplazo de una o más capas de la estructura del pavimento. Incluye la intervención de la carpeta asfáltica, bases granulares o estabilizadas o incluso hasta el niveles de subrasante, por lo que se da un importante aporte estructural al pavimento. Este tipo de tratamiento se aplica a tramos en malas condiciones y el nivel de intervención se define en función de las condiciones del sitio y mediciones realizadas.

En el siguiente cuadro puede observarse el tipo de intervención propuesta para cada tramo homogéneo en la localidad de Filadelfia, con base en las mediciones y evaluaciones realizadas en el 2010 por el personal del LanammeUCR y la UTGV de Carrillo.

**Cuadro 8.** Tipo de intervención requerida para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de Filadelfia.

ID	Longitud(m)	Nota de calidad corregida	Tipo de Intervención
1	610	Q1	Mantenimiento
2	948	Q8	Refuerzo estructural
3	292	QF-1	Reconstrucción
4	382	Q8	Refuerzo estructural
6	194	-	Reconstrucción <sup>1</sup>
5	675	Q8	Refuerzo estructural
7	288	Q1	Mantenimiento
8	519	Q8	Refuerzo estructural
9	278	Q1	Mantenimiento
10	199	Q8	Refuerzo estructural
11	1070	Q8	Refuerzo estructural
12	388	Q3	Mantenimiento
13	552	Q8	Refuerzo estructural
14	290	Q1	Mantenimiento
15	350	Q1	Mantenimiento
16	367	Q8	Refuerzo estructural
17	340	Q7	Refuerzo estructural

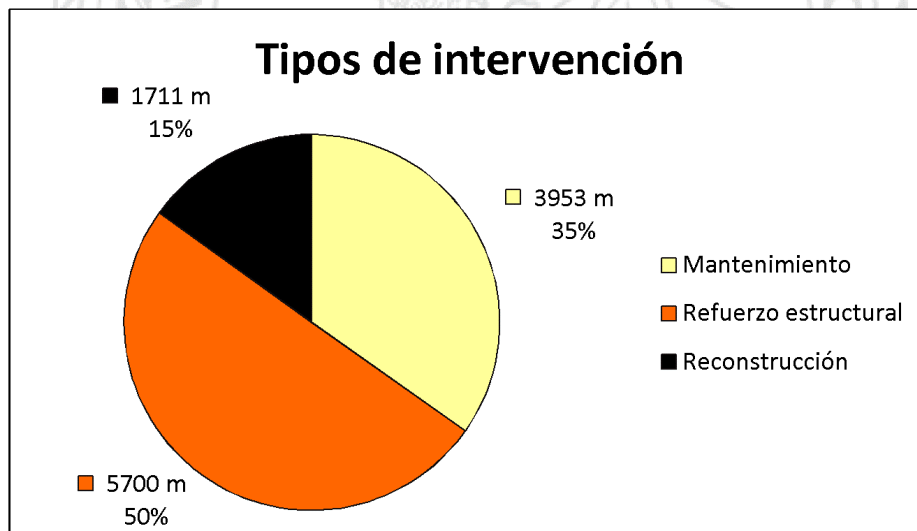


**Cuadro 8.** Tipo de intervención requerida para cada tramo evaluado de la red vial cantonal de Filadelfia (cont.)

ID	Longitud(m)	Nota de calidad corregida	Tipo de Intervención
18	234	Q2	Mantenimiento
19	347	Q3	Mantenimiento
20	315	QF-1	Reconstrucción
21	389	Q3	Mantenimiento
22	128	Q3	Mantenimiento
23	69	Q8	Refuerzo estructural
24	426	QF-2	Reconstrucción
25	378	Q1	Mantenimiento
26	580	-	Refuerzo estructural <sup>1</sup>
27	273	-	Mantenimiento <sup>1</sup>
28	485	-	Reconstrucción <sup>1</sup>

Fuente: LanammeUCR, 2012.

<sup>1</sup> Al no existir medición del índice de daño no es posible asignar una nota de calidad, pero es posible emitir un criterio técnico con base en datos de FWD e IRI de cada tramo.



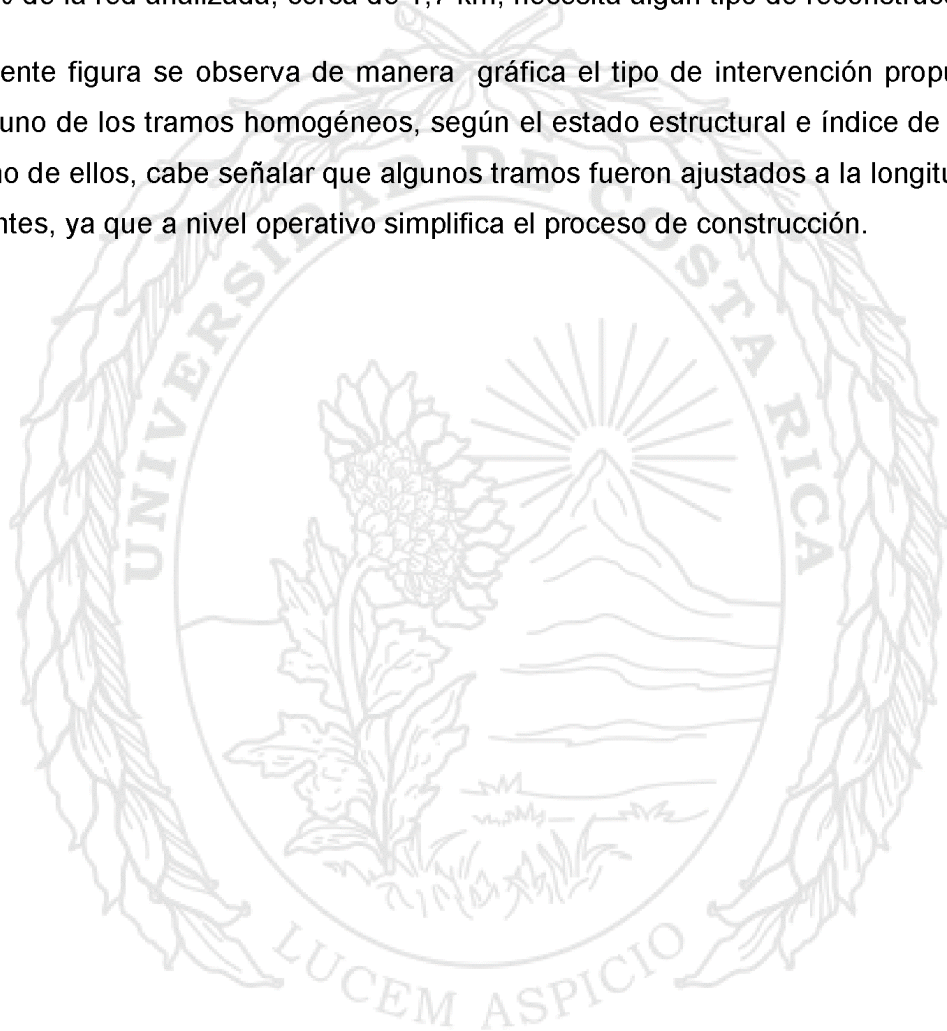
**Figura 38.** Tipos de intervención requerida para la red vial cantonal de Filadelfia.

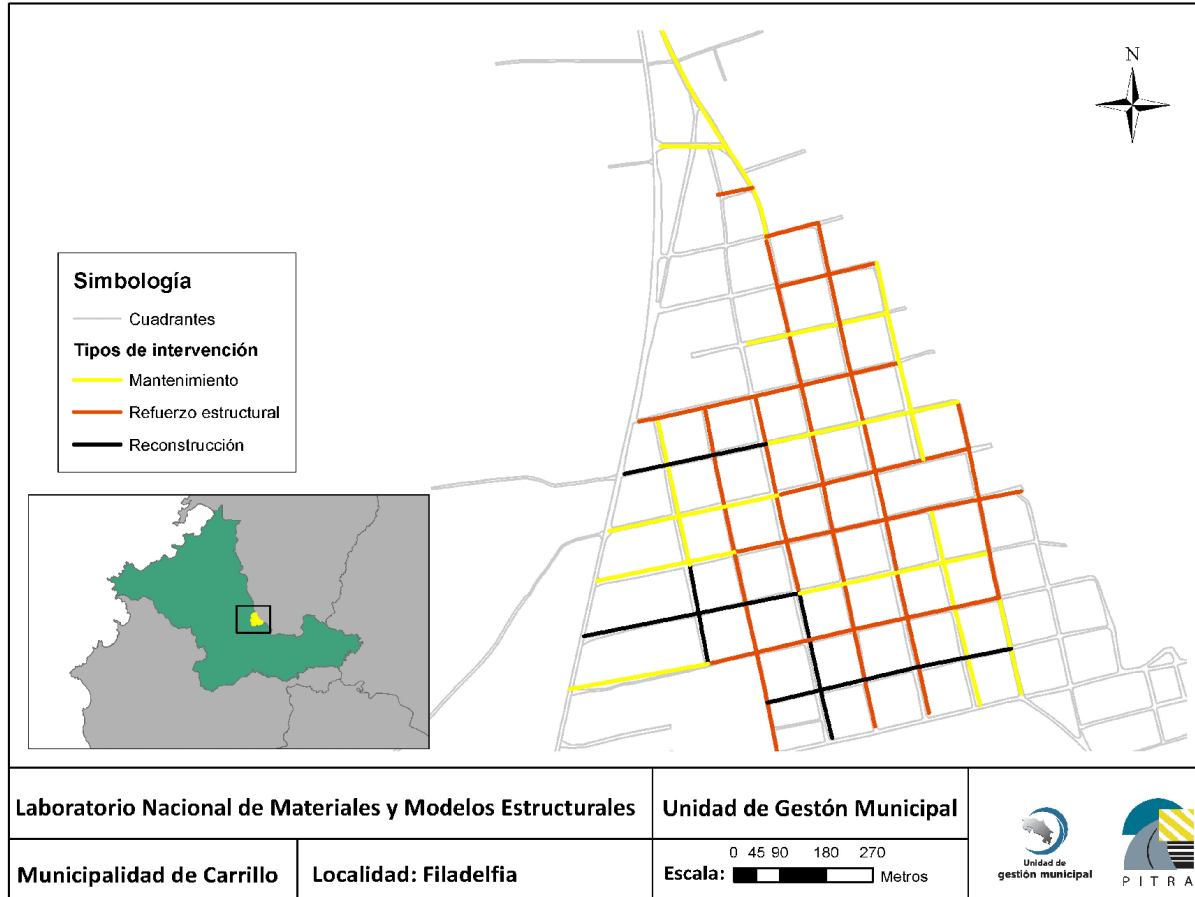
Fuente: LanammeUCR, 2012.



Al analizar las notas de calidad para los tramos generados en las principales rutas de la localidad de Filadelfia, es posible identificar que aproximadamente un 50% de las rutas analizadas necesitan algún tipo de refuerzo estructural, mientras que aproximadamente un 35% necesita labores de mantenimiento que pueden estar asociados a trabajos de mantenimiento preventivo o correctivo, para determinar el tipo específico de intervención es necesario el estudio detallado de cada tramo. Por otra parte es necesario destacar que un 15% de la red analizada, cerca de 1,7 km, necesita algún tipo de reconstrucción.

En la siguiente figura se observa de manera gráfica el tipo de intervención propuesta para cada uno de los tramos homogéneos, según el estado estructural e índice de daño de cada uno de ellos, cabe señalar que algunos tramos fueron ajustados a la longitud de los cuadrantes, ya que a nivel operativo simplifica el proceso de construcción.





**Figura 39.** Tipo de intervención recomendada para cada tramo homogéneo según la condición actual.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

### 3.5 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.
- Refuerzo estructural.
- 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 Filadelfia.

Los costos generales de cada tipo de tratamiento se obtienen realizando una investigación del costo que representa para la municipalidad aplicar cada uno 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 Carrillo para un análisis a nivel estratégico, para presupuestar o definir con exactitud el costo específico para un proyecto se debe realizar tras un análisis y diseño formal del tipo de intervención para cada proyecto, es decir, realizar un análisis a nivel de proyecto.

### **3.6 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 intervenir 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 cambiar 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 instituciones que posee la municipalidad.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

La condición estructural en los tramos homogéneos de las vías analizadas durante el año 2010, presenta deficiencias importantes, cerca de 62% de total analizado en Filadelfia, que corresponde a cerca de 7 km de los 12 km evaluados en esta zona, poseen 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 2,4km de las rutas evaluadas posee una buena capacidad estructural.

Se encontraron diferencias importantes entre las mediciones del IRI y las evaluaciones realizadas por el personal de la UTGV de la Municipalidad de Carrillo, según las evaluaciones mediante la metodología VIZIR en la RVC de Filadelfia el 90% de la misma está en buen estado, pero según datos del IRI solo un 3% cuenta con una buena condición funcional.

En cuanto a la capacidad funcional de la red, se tiene que cerca del 29% de la red tiene 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 28 tramos homogéneos para la localidad de Filadelfia, 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 Carrillo, se obtiene que cerca de la mitad de los kilómetros requieren algún tipo de refuerzo estructural, lo que representa un aumento del paquete estructural que proporcione el soporte requerido para resistir las cargas de tránsito con un nivel de servicio aceptable. De las rutas evaluadas cerca de 1,7 km requieren algún tipo de reconstrucción, lo cual implica intervenir parte o todas las capas granulares de la estructura. Por otro lado únicamente 4 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 sugeridas 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), además se proponen como soluciones óptimas generales de 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 (ver sección 3,4 de este informe). Así mismo, se recomienda intervenir tramos que se encuentren dentro de la categoría de refuerzo estructural, 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 QF-2, donde lo que se requeriría es una reconstrucción y por lo tanto inversiones mayores.

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

- 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.

- Solminihaç 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.

