



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales

OCT 12 4 AM 10:49

Roxana  
SECRETARIA

Proyecto: LM-PI-GM-15-2012

ALCALDIA MUNICIPAL,  
2012 OCT 4 AM 10:44

*Onelano*

# EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE CARTAGO: TRAMOS HOMOGÉNEOS

*Miguel  
04-10-12.  
10:22am.*

Preparado por:  
Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica  
Setiembre, 2012

Información técnica del documento

<b>1. Informe</b> LM-PI-UM-01-11		<b>2. Copia No.</b> 4
<b>3. Título y subtítulo:</b> EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE CARTAGO: TRAMOS HOMOGÉNEOS		<b>4. Fecha del Informe</b>  Setiembre, 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>  Como parte del estudio realizado en las principales rutas de la red vial cantonal de Cartago se realizó 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. En total se obtuvo 88 tramos homogéneos en poco más de 50 km de la red, cuyas longitudes van desde los 100 m hasta más de 2000 m. Cada uno de estos tramos fue caracterizado por diferentes parámetros basados en mediciones de deflectometría e IRI (Índice de Regularidad Internacional). La caracterización de cada uno de los tramos y el análisis a nivel red permitió determinar el tipo de intervención que requiere cada uno de ellos basado en criterio técnico. 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, ya que permite generar planes de inversión a corto plazo y mediano plazo (planes tácticos de inversión).		
<b>10. Palabras clave</b> Evaluación de carreteras, Gestión, Red vial cantonal, Cartago, Tramos homogéneos	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 45
<b>13. Preparado por:</b> Ing. Sharline López Ramírez Unidad de Gestión Municipal   Fecha: 24/09/12		<b>Colaboraron:</b>  Catalina Vargas Sobrado Eliecer Arias Barrantes Ignacio Matamoros Elizondo Tatiana Araya Muñoz
<b>14. Revisado por:</b> Ing. Jaime Allen Monge, MSc Coordinador Unidad de Gestión Municipal   Fecha: 11/10/2012		<b>15. Aprobado por:</b> Ing. Guillermo Loria Salazar, PhD Coordinador General PITRA   Fecha: 25/09/12



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL.....</b>	<b>6</b>
1.1 <i>IMPORTANCIA</i> .....	6
1.2 <i>SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP)</i> .....	7
1.3 <i>PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL</i> .....	9
1.4 <i>ESQUEMA METODOLÓGICO</i> .....	11
<b>2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS TRAMOS</b>	
<b>HOMOGÉNEOS .....</b>	<b>12</b>
2.1 <i>DEFLEXIÓN E IRI PROMEDIO DE LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS</i> .....	15
2.1.1 <i>DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO</i> .....	16
2.1.2 <i>IRI PROMEDIO</i> .....	22
2.2 <i>INDICADORES DE CONDICIÓN</i> .....	26
2.2.1 <i>NOTAS DE CONDICIÓN</i> .....	26
2.2.2 <i>ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN</i> .....	32
<b>3. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE</b>	
<b>PROYECTOS .....</b>	<b>38</b>
3.1 <i>DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS</i> .....	38
3.2 <i>ESCENARIOS DE INVERSIÓN</i> .....	39
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>40</b>
4.1 <i>CONCLUSIONES</i> .....	40
4.2 <i>RECOMENDACIONES</i> .....	42
<b>5. REFERENCIAS .....</b>	<b>44</b>



## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> VALORES DE IRI PARA MOSTRAR EL EFECTO DE LA DISPERSIÓN SOBRE EL PROMEDIO DE UN CONJUNTO DE DATOS. ....	15
<b>TABLA 2.</b> DATOS GENERALES DE LOS CONTEOS REALIZADOS EN DIFERENTES SITIOS DE LA.....	18
RED VIAL EN ESTUDIO. ....	18
<b>TABLA 3.</b> TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE FWD PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE CARTAGO EVALUADA.....	21
<b>TABLA 4.</b> CANTIDAD TRAMOS HOMOGÉNEOS Y LONGITUD DE VÍAS ASOCIADOS A CADA CONDICIÓN DE IRI PROMEDIO, SOBRE LA RED VIAL CANTONAL DE CARTAGO EVALUADA.....	25
<b>TABLA 5.</b> NOTAS DE CALIDAD PARA UN TRÁNSITO ENTRE LOS 0 Y 5000 VEHÍCULOS DIARIOS PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR. ....	26
<b>TABLA 6.</b> NOTAS DE CALIDAD PARA UN TRÁNSITO ENTRE LOS 5000 Y 15000 VEHÍCULOS DIARIOS PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR.....	27
<b>TABLA 7 .</b> NOTAS DE CALIDAD PARA UN TRÁNSITO ENTRE LOS 0 Y 5000 VEHÍCULOS DIARIOS PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE ESTABILIZADA. ....	27
<b>TABLA 8.</b> RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CADA TRAMO HOMOGÉNEO....	35

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS	8
<b>FIGURA 2.</b> ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL .....	10
<b>FIGURA 3.</b> ESQUEMA METODOLÓGICO (FUENTE: LÓPEZ, 2009).....	11
<b>FIGURA 5.</b> TRAMOS HOMOGÉNEOS DE LA RVC DE CARTAGO, SECTOR SUR.....	14
<b>FIGURA 6.</b> CONDICIÓN DEL PAVIMENTO A PARTIR DE DEFLECTOMETRÍA Y TPD, PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR. ....	17
<b>FIGURA 7.</b> UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE CONTEOS REALIZADOS, CASCO CENTRAL DEL CANTÓN DE CARTAGO.....	19





<b>FIGURA 8.</b> DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS DE CARTAGO SECTOR NORTE .....	20
<b>FIGURA 9.</b> DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS DE CARTAGO SECTOR SUR .....	21
<b>FIGURA 10.</b> GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL FWD PROMEDIO.....	22
<b>FIGURA 11.</b> GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO .....	22
<b>FIGURA 12.</b> IRI PROMEDIO DE LOS DIFERENTES TRAMOS ANALIZADOS DEL CANTÓN DE CARTAGO SECTOR NORTE. ....	23
<b>FIGURA 13.</b> IRI PROMEDIO DE LOS DIFERENTES TRAMOS ANALIZADOS DEL CANTÓN DE CARTAGO,.....	24
SECTOR SUR.....	24
<b>FIGURA 14.</b> GRÁFICO DE PORCENTAJE DE TRAMOS HOMOGÉNEOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO .....	25
<b>FIGURA 15.</b> GRÁFICO DE PORCENTAJE DE KILÓMETROS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO.....	25
<b>FIGURA 16.</b> IRI PROMEDIO DE LOS DIFERENTES TRAMOS ANALIZADOS DEL CANTÓN DE CARTAGO, SECTOR NORTE. ....	31
.....	31
<b>FIGURA 17.</b> IRI PROMEDIO DE LOS DIFERENTES TRAMOS ANALIZADOS DEL CANTÓN DE CARTAGO, SECTOR SUR. ....	31
<b>FIGURA 18.</b> TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA NOTA DE CALIDAD. ....	34
<b>FIGURA 19.</b> CANTIDAD DE KILÓMETROS ASOCIADOS A CADA TIPO DE INTERVENCIÓN.....	37



## 1. PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL

### 1.1 Importancia

El transporte por carretera es el principal medio de movilización con el que cuenta nuestro país, tanto para personas como para bienes. La red vial cantonal (RVC) es un elemento fundamental económico regional, ya que al estar conectada a la red vial nacional proporciona un mayor dinamismo para el desarrollo en la economía nacional y local, esto al mejorar las condiciones para que se dé el intercambio de bienes y servicios y facilitar el transporte para que se desarrollen actividades educativas, productivas, turísticas y recreativas en las regiones.

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, espaldones, 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 Cartago, 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.

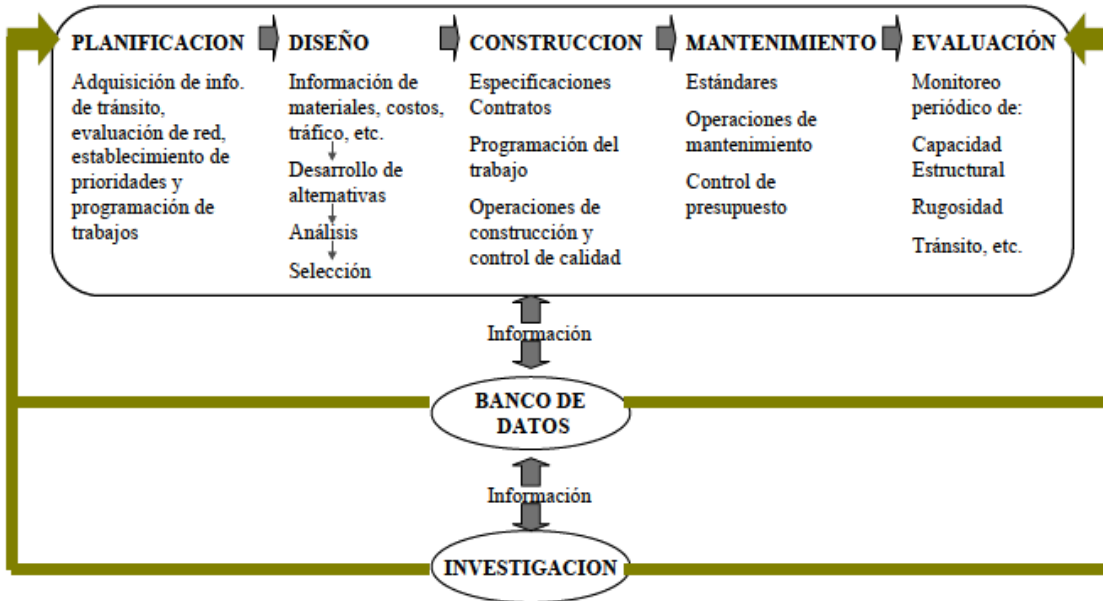
Es labor de las municipalidades velar por el buen estado de su red cantonal. El municipio financia las obras de rehabilitación y mantenimiento de la red a través del Fondo Vial, el que está establecido en la Ley de Simplificación y Eficiencias Tributarias (Ley N° 8114).

## **1.2 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.





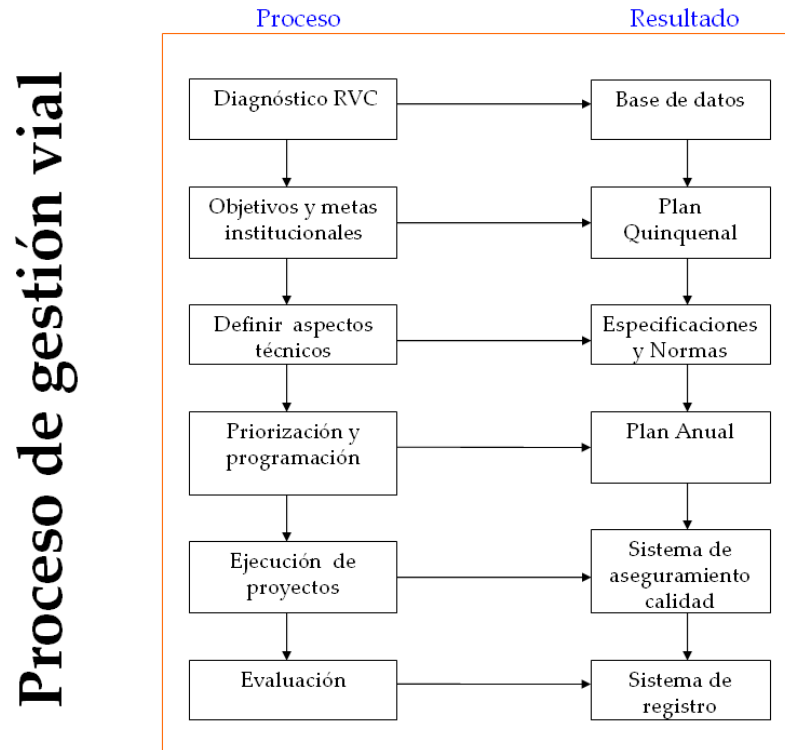
Los pavimentos son estructuras complejas que se ven afectadas por diferentes variables: frecuencia (cantidad de vehículos que circulan en un periodo de tiempo determinado) y peso de vehículos que soportan, solicitaciones de medio ambiente, materiales usados y formas de construcción, mantenimiento, etc. Es importante entender claramente los factores técnicos y económicos que involucran su construcción, explotación y 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 Solminihac, 1998).

### **1.3 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).

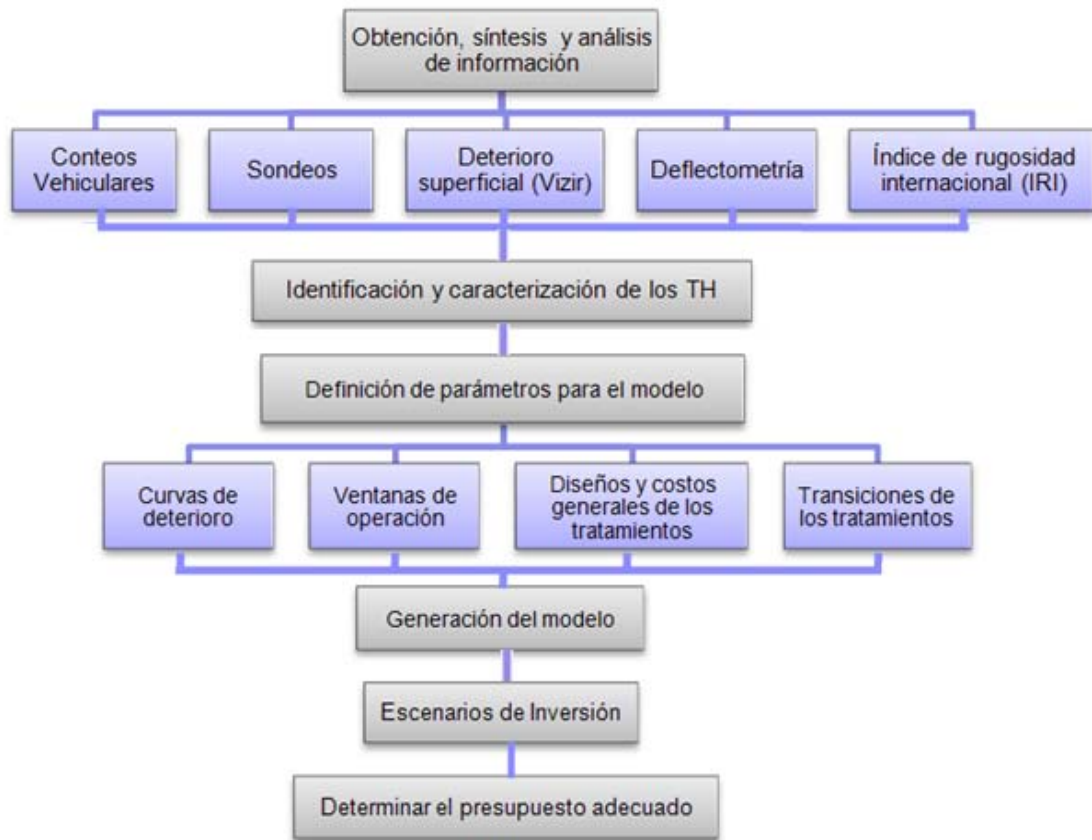
Se elabora el diagnóstico de la Red Vial Cantonal (RVC), el producto principal es la base de datos del diagnóstico, lo que permite determinar el estado actual de la red, insumo necesario para establecer políticas de priorización y planes de conservación y rehabilitación de las vías del cantón.

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

- Nivel estratégico: planes globales a realizados 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.

### 1.4 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).



## 2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS 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 única solución por tramo, ya que a nivel operativo no es funcional que el tipo o diseño de la intervención requerida varíe en pocos metros.

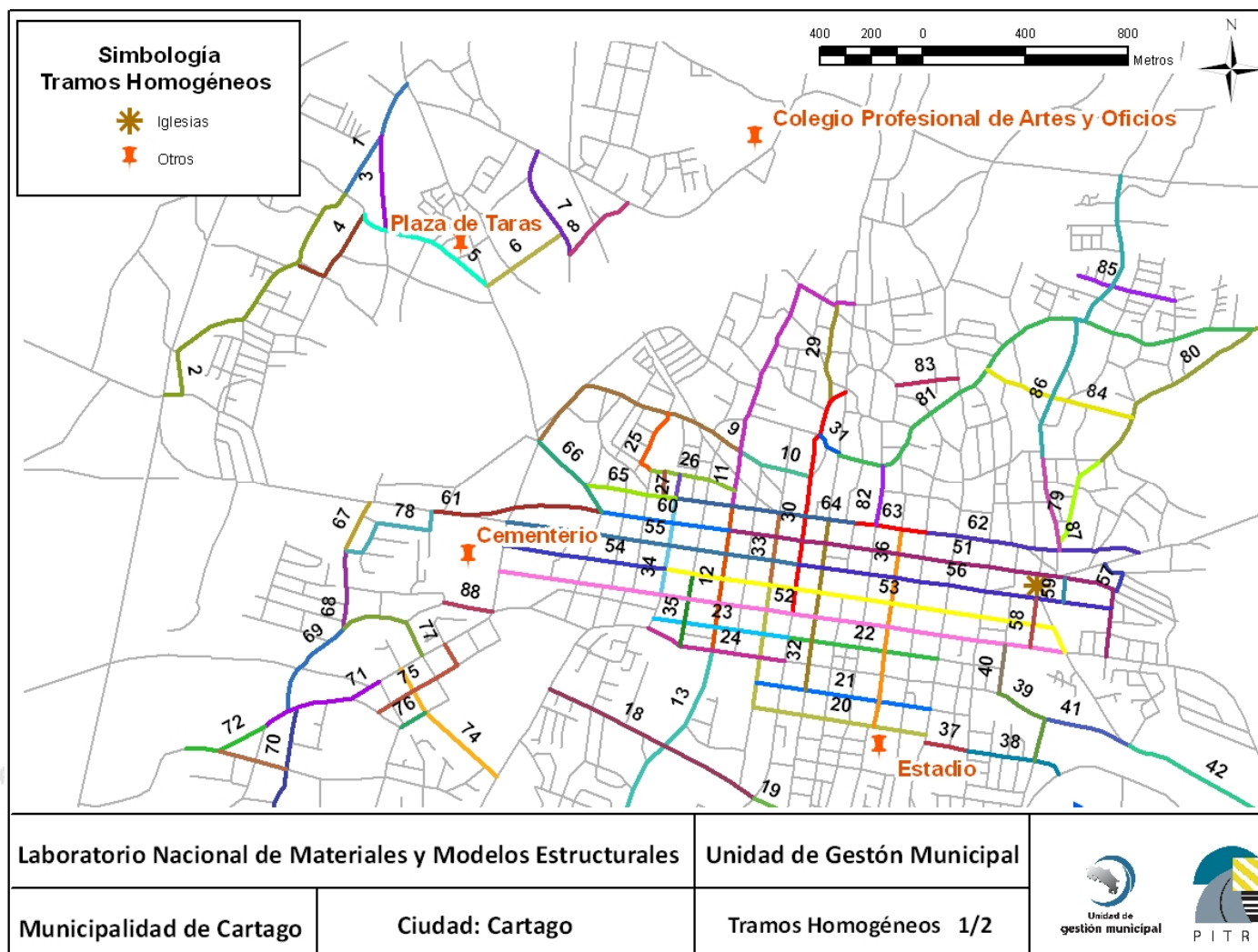
Se consideraron los siguientes criterios para determinar los tramos homogéneos, los cuales se basaron en los valores de las deflexiones obtenidas en la evaluación de la red en el año 2009:

- 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.

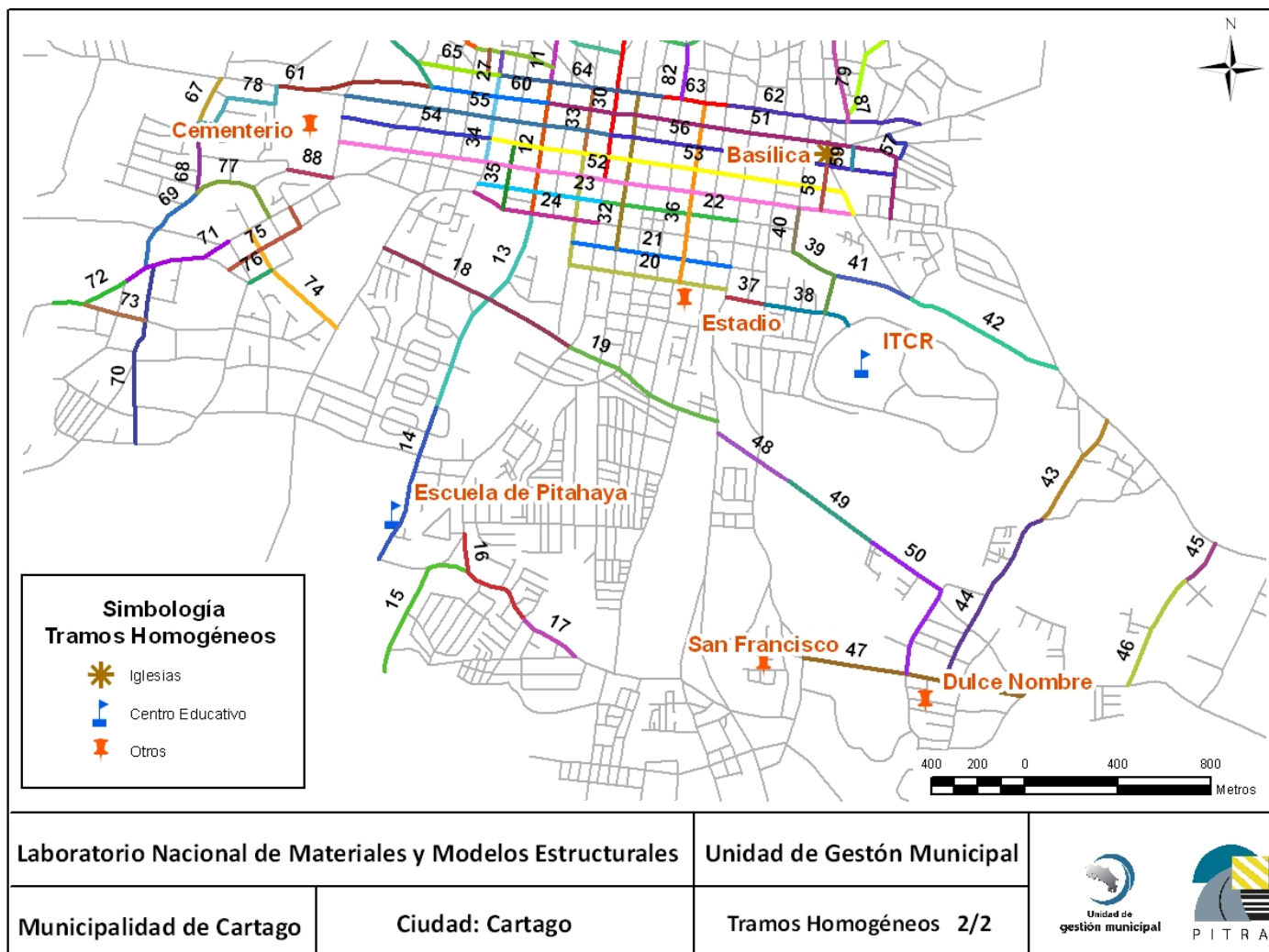
Los tramos homogéneos finales se obtuvieron por medio del método de diferencias acumuladas establecido por el AASHTO 93, a partir de la información de deflectometría. Existen vías con relaciones entre la desviación estándar y la media superiores a 0.45, esto con el fin de no seccionar más el tramo homogéneo determinado y tratar de mantener tramos con una longitud mínima de 300 m.

En total se obtuvo 88 tramos homogéneos a para un total aproximado de 50 km evaluados, los cuales se muestran en la siguiente figura.





**Figura 4.** Tramos homogéneos de la RVC de Cartago, sector norte



**Figura 5.** Tramos homogéneos de la RVC de Cartago, sector Sur

## 2.1 Deflexión e IRI promedio de los tramos homogéneos

En esta sección se presentan los valores de deflexión y IRI promedio para cada uno de los tramos homogéneos definidos. Es importante aclarar que al ser un valor promedio se generaliza la condición del tramo, por lo que el valor reportado como promedio difiera del valor reportado para un lugar específico del tramo, ya que a cada tramo se le asocia cierta dispersión producto de la variabilidad de la evaluación del IRI o la deflectometría a través de este.

Un ejemplo sencillo del efecto de la dispersión de los datos se muestra al analizar los valores que se presentan en la siguiente tabla, donde la media de los datos en una Ruta es de 7.6, cuando es claro que la condición general del primer tramo (0 m-100 m) es mucho mejor que la condición del segundo tramo (100 m-250 m), por lo que utilizar un promedio general no refleja las condiciones reales de los 250 m.

**Tabla 1.** Valores de IRI para mostrar el efecto de la dispersión sobre el promedio de un conjunto de datos.

Tramo evaluado	IRI
0+000 - 0+025	5,3
0+025 - 0+050	5,2
0+050 - 0+075	4,9
0+075 - 0+100	5,1
0+100 - 0+125	9,5
0+125 - 0+150	9,8
0+150 - 0+175	9,2
0+175 - 0+200	9,4
0+200 - 0+250	9,8

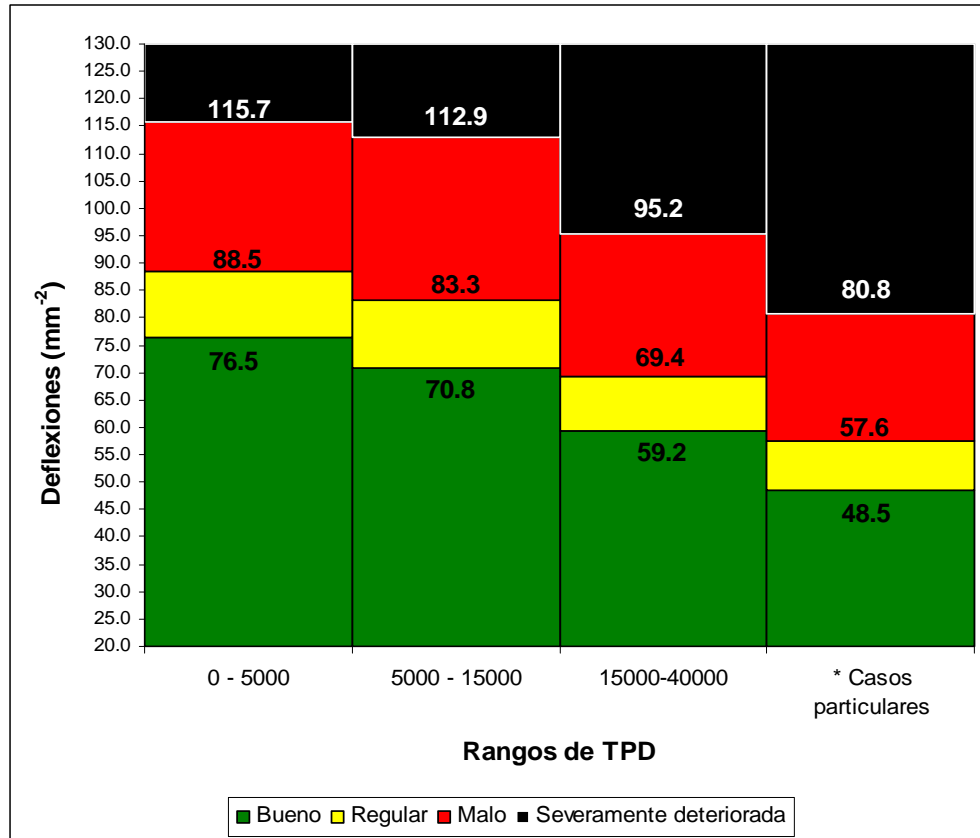


### 2.1.1 Deflectometría promedio

La condición estructural de una ruta está directamente relacionada con la respuesta ante las cargas a las que se ve expuesta. La medición de la capacidad estructural se realizó con el equipo deflectómetro de impacto (FWD, por sus siglas en inglés), tomando mediciones cada 50 metros durante los meses de julio y agosto del año 2009. 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 el impacto. Menores deflexiones implican mayor capacidad del pavimento ante las cargas, por lo que grandes deflexiones son asociadas a una deficiente capacidad de la estructura del pavimento para soportar las cargas.

Para categorizar el estado estructural de cada tramo homogéneo se utiliza la clasificación que se presenta en la siguiente figura, donde se consideran diferentes rangos de deflectometría según el TPDA de las vías y el tipo de estructura (pavimento con base granular o estabilizada). Cabe destacar que esta categorización fue generada a partir de datos de la red vial nacional costarricense, tras una investigación desarrollada por la Unidad de Investigación del Lanamme y cuyos resultados completos y descripción de la metodología utilizada se muestran en el Informe N° UI-PC-03-08.





**Figura 6.** Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una estructura con base granular. Fuente: Informe N° UI-PC-03-08.

Para caracterizar los resultados de deflectometría es necesario conocer el tránsito promedio diario (TPD) que circula sobre las diferentes rutas. Sobre la red vial analizada se realizaron un total de 26 conteos, principalmente en rutas primarias en los años 2009 y 2010. En la Tabla 2 se muestran los datos generales de los conteos realizados sobre la red en estudio. En la tabla se especifica el tipo de ruta (primaria, secundaria o terciaria), además el tipo de conteo (parcial o total), así como el valor estimado a 24 horas en el caso conteos parciales.

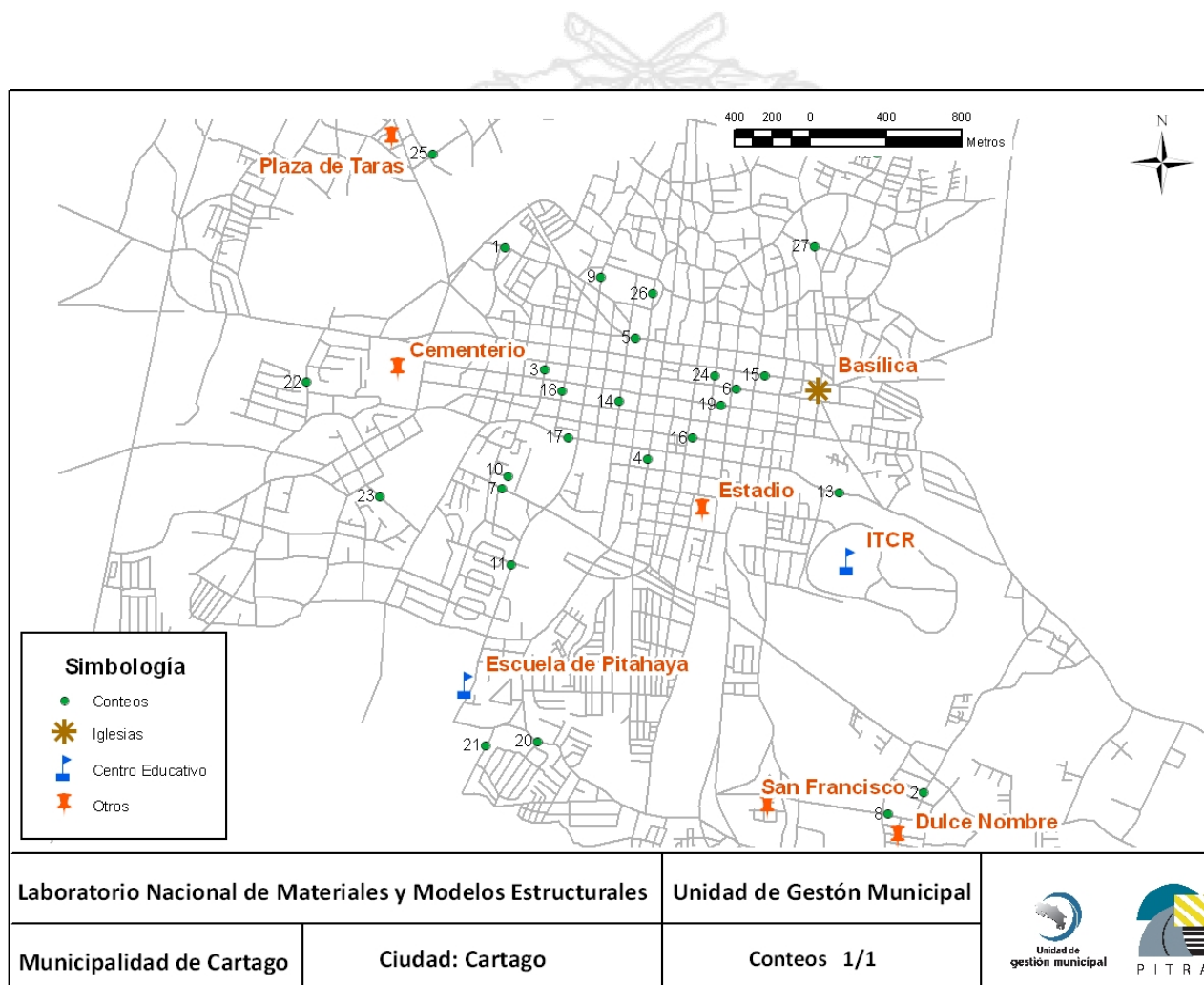


**Tabla 2.** Datos generales de los conteos realizados en diferentes sitios de la red vial en estudio.

N° CONTEO	Descripción del Sitio	Tipo de Vía	Tipo de Conteo	Vehículos Contados	Volumen diario estimado	Vehículos pesados (%)
1	Barrio Fátima	Primaria	Total	1866	1866	3,0
2	Dulce Nombre	Primaria	Total	583	583	3,3
3	Occidente Iglesia	Primaria	Total	8586	8586	6,4
4	Orienta Hospital	Primaria	Total	7018	7018	1,7
5	Oriental Estación	Primaria	Total	8839	8839	5,8
7	Circunv. El Molino	Primaria	Total	4027	4027	2,2
8	Dulce Nombre	Primaria	Total	830	830	3,4
9	El Carmen	Primaria	Total	4930	4930	2,4
10	Frente Urb. Boulevard	Terciaria	Total	3596	3596	2,1
11	Res. El Molino	Primaria	Total	2742	2742	0,8
12	San Blas	Primaria	Total	4326	4326	2,5
13	Dulce Nombre	Secundaria	Total	6028	6028	1,7
14	Occidental BC	Secundaria	Total	3871	3871	4,9
6	Oriental	Primaria	Total	13566	13566	3,3
15	Oriental Farmacia	Primaria	Total	12017	12017	3,8
16	Oriental UCA	Secundaria	Total	6920	6920	3,9
17	Occ. Barrio Molino	Primaria	Parcial	4717	5128	4,1
18	Occidental	Primaria	Parcial	3608	3888	1,4
19	Oriental	Primaria	Parcial	9253	9272	9,0
20	Entra. Cd. Oro	Primaria	Parcial	11787	12573	5,5
21	Entra. Cd.Oro	Primaria	Parcial	6868	7269	4,0
22	Urb. La Joya	Primaria	Parcial	4108	4439	4,6
23	Guadalupe	Secundaria	Parcial	2579	2680	3,1
24	Oriental	Secundaria	Parcial	3314	4795	7,9
25	San Nicolás	Secundaria	Parcial	3102	3444	7,5
27	San Blas	Primaria	Total	2843	2843	1,1
26	Cartago Occidental Norte	Primaria	Total	5123	5123	5,2

Fuente: LanammeUCR

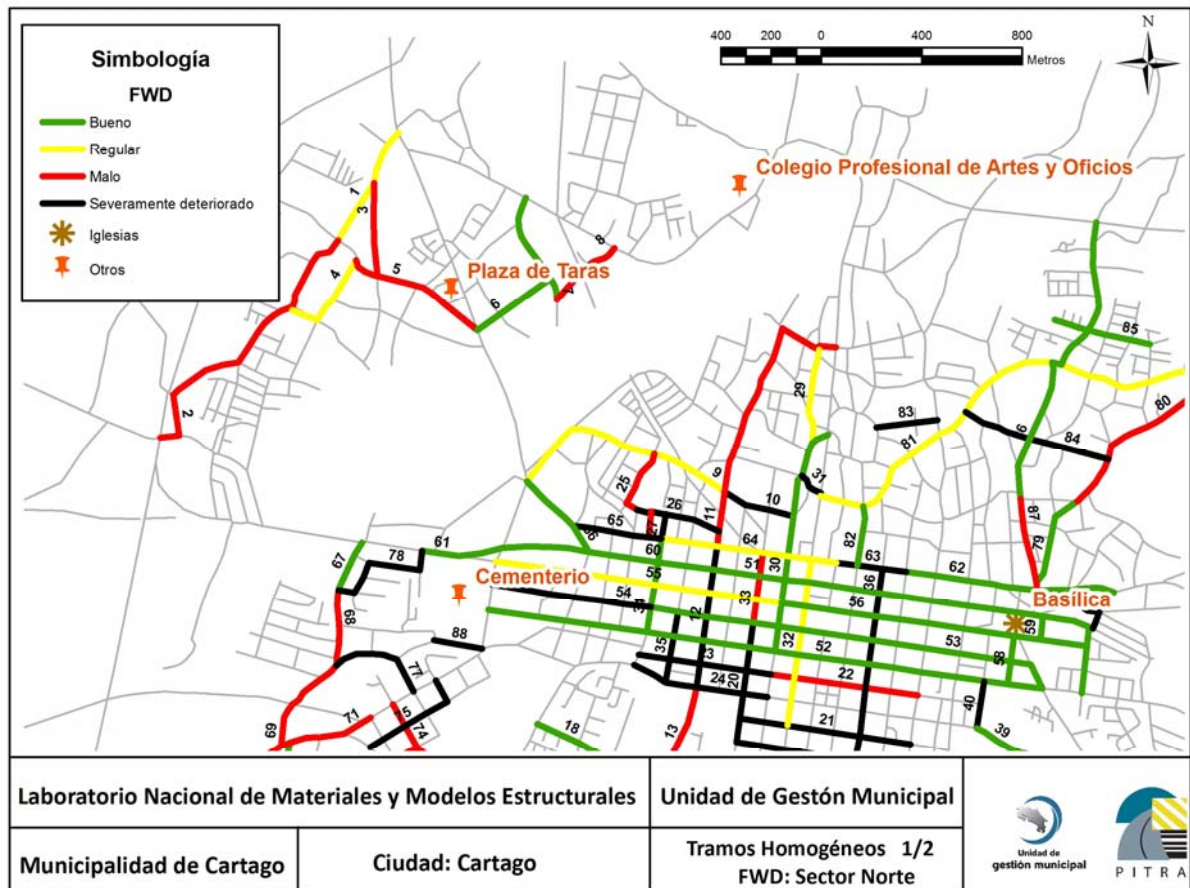
En la siguiente figura es posible identificar los sitios en los que se realizaron los conteos vehiculares. En su mayoría son conteos totales (periodo de conteo igual o superior a las 24 horas), sin embargo, en algunos sitios de conteo se cuenta con datos parciales (inferior a 24 horas), por lo que fue necesario estimar el flujo vehicular de las horas en las que no fue posible contabilizados. En el informe LM-PI-UM-02-10 entregado anteriormente a la municipalidad se hace una mayor descripción de los resultados obtenidos en los conteos.



**Figura 7.** Ubicación de los sitios de conteos realizados, casco central del cantón de Cartago.

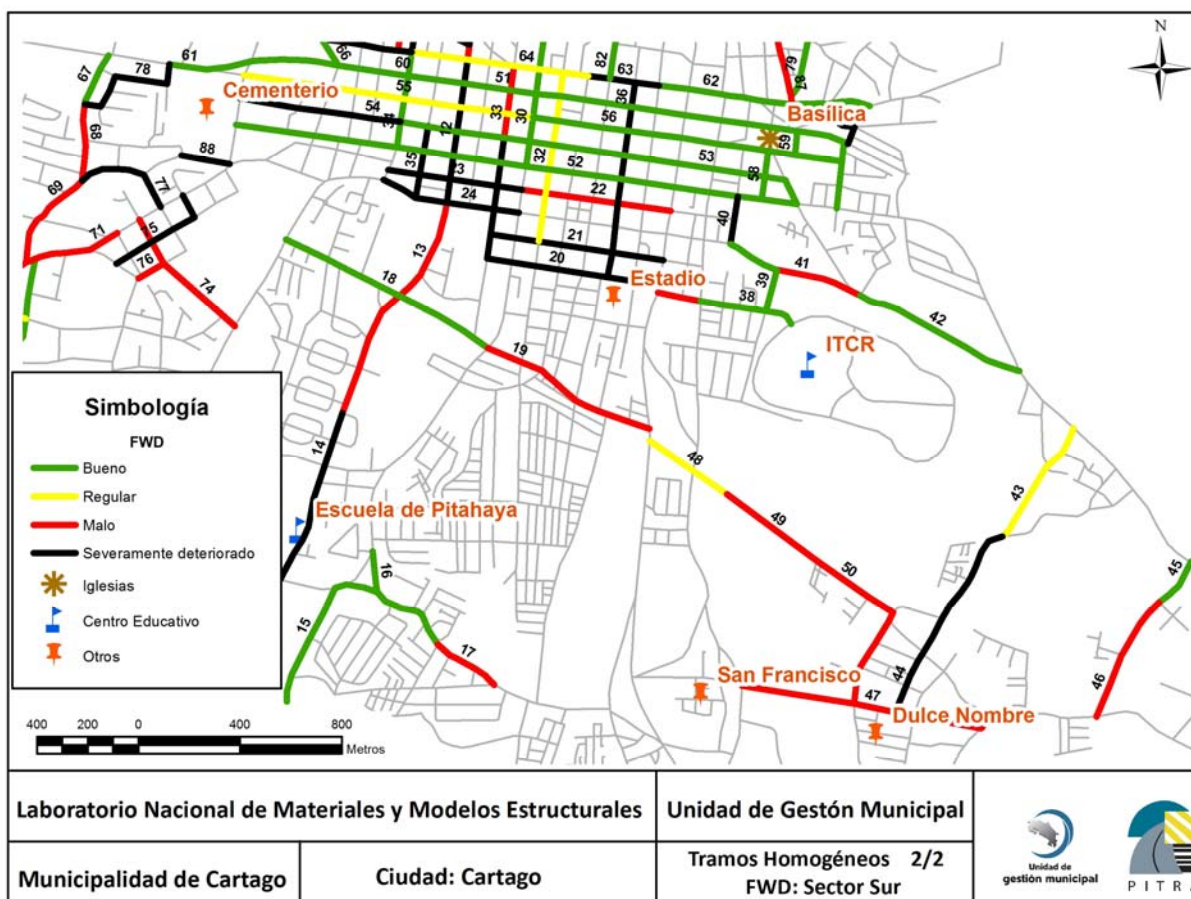
Una vez que se conoce el volumen de vehículos que circulan sobre diferentes sitios de la red, es posible extrapolar estos valores a las rutas que, aunque no tienen conteos, poseen un comportamiento similar, con lo que se procede a la caracterización de los datos de deflectometría asociados a cada tramo.

En las siguientes figuras se muestra de manera gráfica la caracterización de la red evaluada, según los valores promedio de las deflexiones, utilizando los rangos respectivos según el tipo de estructura (base granular o estabilizada) y el volumen de vehículos diarios. Los datos fueron calibrados mediante una visita de campo a los diferentes tramos, principalmente con el volumen de vehículos que se extrapola para cada tramo cuando no posee con un conteo vehicular.



**Figura 8.** Deflectometría promedio de las vías analizadas de Cartago sector norte



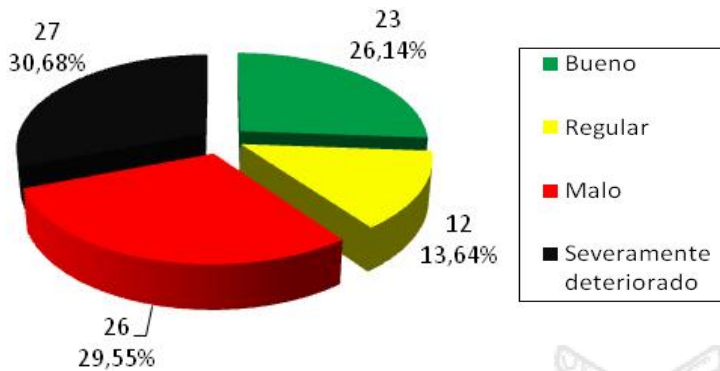


**Figura 9.** Deflectometría promedio de las vías analizadas de Cartago sector sur

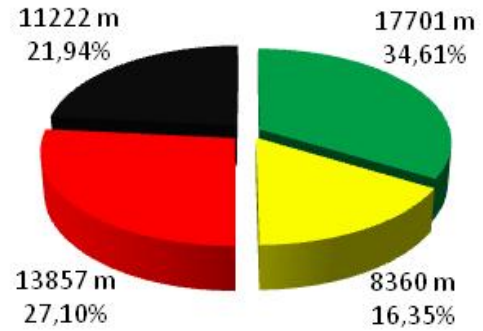
Para cada categoría de condición estructural se realiza un análisis en el que se determinan la cantidad de metros lineales y cantidad de tramos homogéneos asociados, los cuales se sintetizan en las figuras 10 y 11.

**Tabla 3.** Tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de FWD promedio, sobre la red vial cantonal de Cartago evaluada.

Condición	Cantidad de Tramos Homogéneos	Longitud (m)	Porcentaje (%)
Bueno	23	17128,10	33,49%
Regular	12	8359,80	16,35%
Malo	26	13666,10	26,72%
Severamente deteriorado	27	11985,80	23,44%
<b>Total</b>	<b>88</b>	<b>51139,80</b>	<b>100,00%</b>



**Figura 10.** Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el FWD promedio.



**Figura 11.** Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según FWD promedio.

En ambas figuras es posible observar que cerca del 50% de los kilómetros de la red analizada presenta condiciones estructurales deficientes (mala condición o severamente deteriorado). Además se evidencia que alrededor de una tercera parte de la red en estudio presenta buenas condiciones estructurales, lo que representa poco más de 17 km, y más de 8 km son categorizados con una condición estructural regular, lo que indica que cerca de la mitad de los kilómetros evaluados se encuentran en condiciones estructurales aceptables.

Es importante destacar que una cantidad significativa de las rutas que se encuentran en el casco central del cantón cuentan con condiciones estructurales buenas o regulares, esto a pesar del alto volumen vehicular que poseen, principalmente en las avenidas.

### 2.1.2 IRI promedio

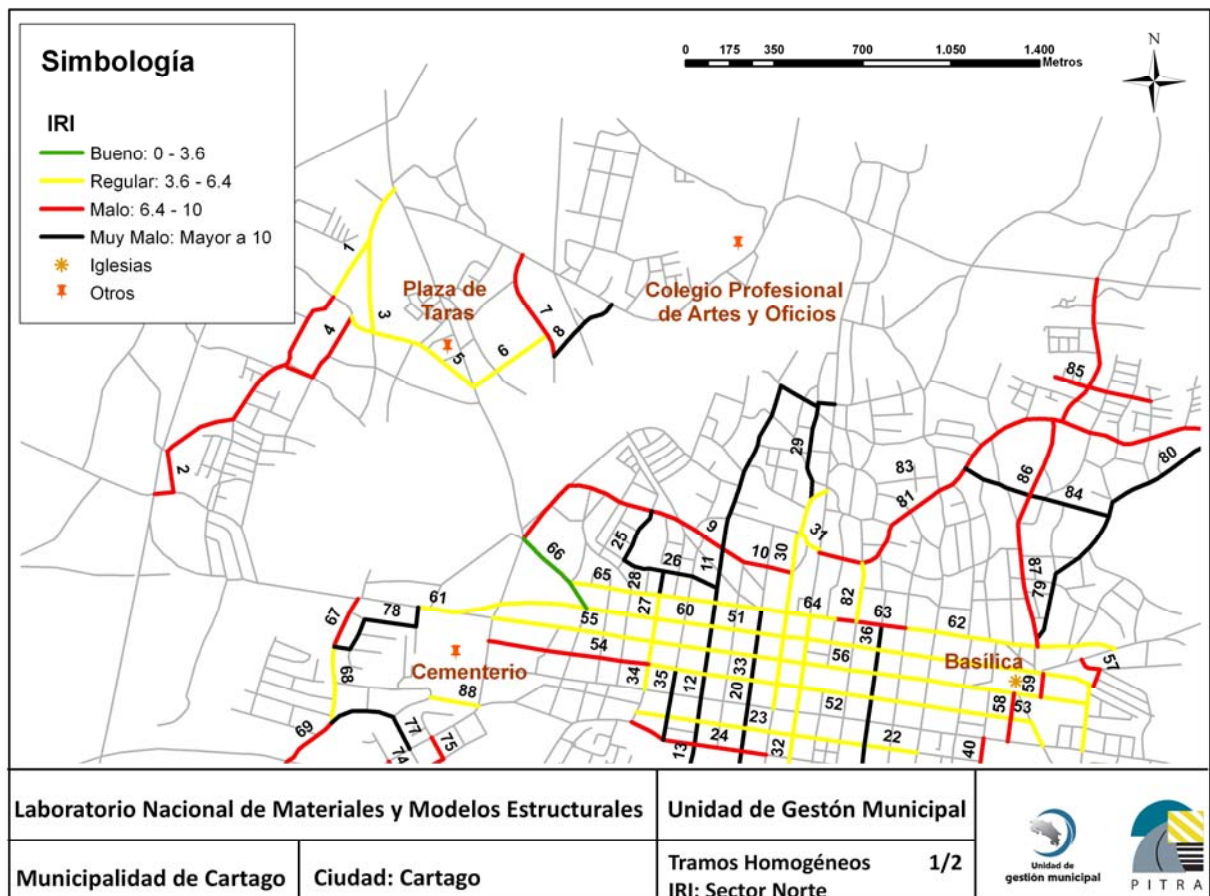
El Índice de Regularidad Internacional es utilizado en muchos países como parámetro de aceptación de obras así como para la gestión de pavimentos. Este índice está relacionado con los costos de operación de los vehículos y la vida útil de los pavimentos.

El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de 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.

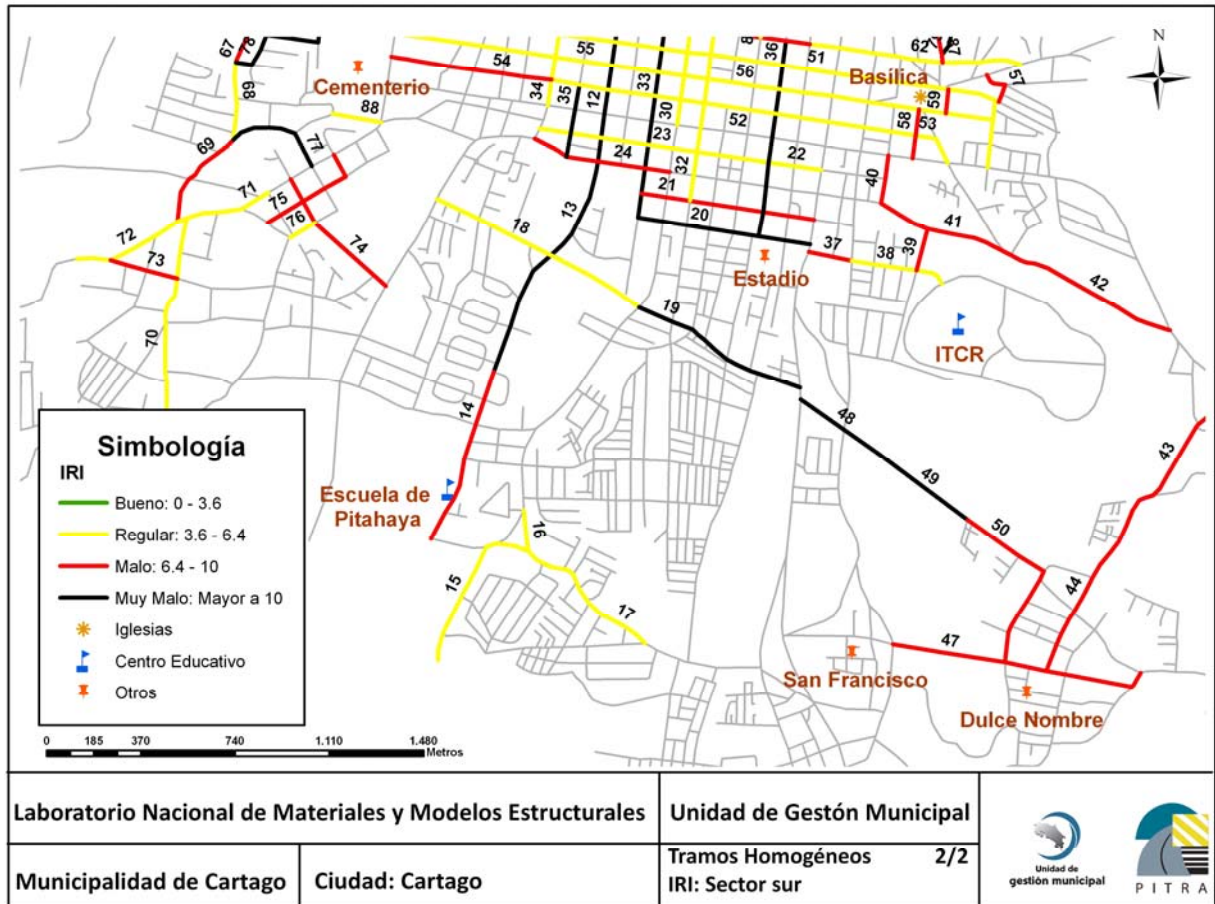
El IRI se calculó a partir de los resultados obtenidos al realizar mediciones con el perfilómetro inercial láser propiedad del LanammeUCR, fue calculado cada 25 m sobre diferentes vías de la red cantonal de Cartago, esta evaluación se realizó en el mes de julio del 2009 sobre las principales rutas del casco central, para un total de 48 km. En las siguientes figuras es posible visualizar la condición promedio para los diferentes tramos.

Es importante destacar que la clasificación del IRI utilizada en este informe difiere de la utilizada en el informe de diagnóstico (LM-PI-UM-01-10). La escala utilizada en este informe fue modificada, de manera que se ajuste más a la realidad de la red vial municipal.



**Figura 12.** IRI promedio de los diferentes tramos analizados del cantón de Cartago sector norte.





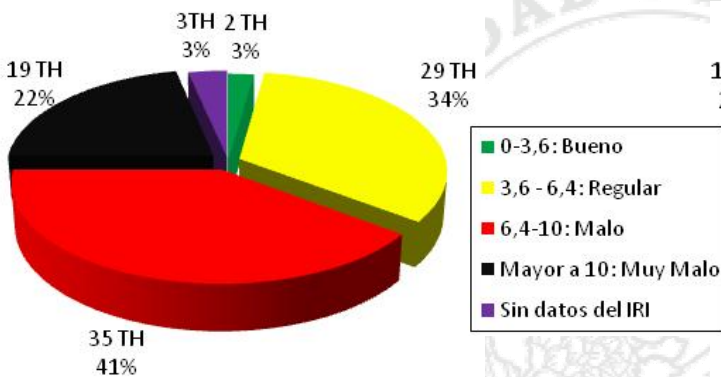
**Figura 13.** IRI promedio de los diferentes tramos analizados del cantón de Cartago, sector sur.

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 poco más de un 20% de los kilómetros evaluados poseen IRI superior a 10,0 m/km, correspondiente a una vía sumamente irregular, lo que implica un mayor costo de operación para los usuarios, mayor tiempo de viaje y un viaje poco confortable sobre estos tramos. Por otro lado más de un 60% de la red evaluada posee un IRI superior a 6,4 m/km, mientras que una longitud de aproximadamente 30 km (38,9% de la red evaluada) tiene condiciones aceptables de IRI (inferior a 6,4 m/km). La distribución porcentual de la cantidad de kilómetros evaluados a cada categoría de IRI se muestra a continuación.

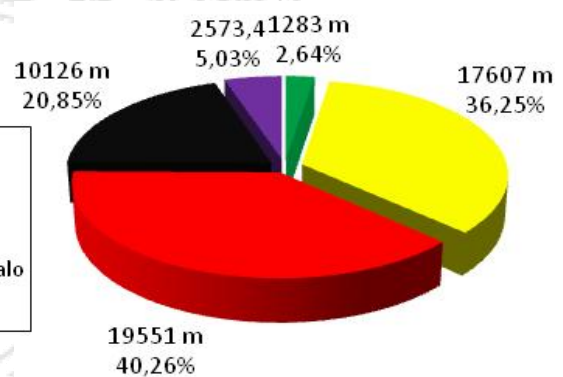


**Tabla 4.** Cantidad tramos homogéneos y longitud de vías asociados a cada condición de IRI promedio, sobre la red vial cantonal de Cartago evaluada.

Categoría	Cantidad de Tramos homogéneos	Longitud (m)
Bueno (0,0-3,6 m/km)	2	1283,00
Regular (3,6-6,4 m/km)	29	17607,10
Malo (6,4-10,0 m/km)	35	19551,00
Muy malo (mayor 10,0 m/km)	19	10125,50
Sin datos del IRI	3	2573,4
<b>TOTAL</b>	<b>88</b>	<b>51140,00</b>



**Figura 14.** Gráfico de porcentaje de tramos homogéneos clasificados según el IRI promedio



**Figura 15.** Gráfico de porcentaje de kilómetros clasificados según el IRI promedio

La cantidad total de tramos analizados para el IRI es inferior a la cantidad de tramos analizados para las condiciones estructurales evaluadas por medio de la deflectometría de impacto (FWD), ya que algunos tramos no fue posible realizar la evaluación de la condición funcional mediante la medición del perfil longitudinal.

## 2.2 Indicadores de Condición

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

### 2.2.1 Notas de Condición

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

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

Se propone una serie de matrices que establecen notas de calidad en función de los valores de IRI y deflectometría. Cada nota se encuentra asociada a la condición que presenta la ruta al ser evaluada. En las siguientes tablas se muestran las matrices utilizadas para el cantón de Cartago en una estructura con base granular.

**Tabla 5.** Notas de calidad para un tránsito entre los 0 y 5000 vehículos diarios para una estructura con base granular.

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

Fuente : LanammeUCR

**Tabla 6.** Notas de calidad para un tránsito entre los 5000 y 15000 vehículos diarios para una estructura con base granular.

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

Fuente: LanammeUCR

**Tabla 7.** Notas de calidad para un tránsito entre los 0 y 5000 vehículos diarios para una estructura con base estabilizada.

Deflexión $10^{-2}$ mm	IRI m/km			
	<36,4	36,4-39,7	39,7-53,3	>53,3
Bueno (0-3,6 m/km)	Q1	Q3	Q6	R-1
Regular (3,6-6,4 m/km)	Q2	Q5	Q8	R-2
Malo (6,4-10,0 m/km)	Q4	Q7	Q9	R-3
Muy malo (mayor 10,0 m/km)	M-RF	RH-RF	R-3	NP

Fuente: LanammeUCR

El uso de colores en las tablas anteriores refleja, de manera general, el tipo de intervención que requiere cada una de las categorías a nivel de red. Los colores verdes representan actividades de mantenimiento, los tramos en amarillos se refieren a tramos que requieren recuperación de la capacidad funcional, el azul requiere un proceso de análisis a nivel de proyecto ya que se encuentra en una condición intermedia, los colores rosados representan tramos que requieren rehabilitación menor, los colores naranjas y rojos representan una rehabilitación mayor y los negros requieren reconstrucción, en la siguiente sección se amplía la descripción de los diferentes tipos de intervenciones.

Cada una de las categorías que se muestran en las Tablas 5, 6 y 7, presenta una descripción que caracteriza las condiciones generales en las que se encuentran los tramos en estudio, así como la intervención que se recomienda. Esta descripción, al igual que las Tablas 5, 6 y



7, son una adaptación a las condiciones municipales de las notas de calidad expuestas en el informe LM-PI-UE-05-11, las cuales se describen seguidamente:

- Q1: Es la condición ideal de un pavimento desde el punto de vista funcional y estructural. Son estructuras que brindan un buen servicio al usuario, disminuyendo los costos de operación. A pesar de esto pueden presentar deterioros que no son percibidos por la deflectometría de campo y la evaluación realizada con el perfilómetro (IRI), tales como: desprendimientos leves, desnudamiento o exudaciones. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones del tipo mantenimiento de preservación de bajo costo.
- Q2: Son pavimentos con muy buena capacidad estructural, sin embargo, poseen una capacidad funcional regular. En pavimentos flexibles los defectos superficiales que se pueden presentar son deformaciones en la mezcla asfáltica, baches reparados y agrietamientos de baja severidad. Estas estructuras son candidatas a mantenimientos de preservación de bajo costo, enfocadas a corregir la pérdida de capacidad funcional.
- Q3: En estos pavimentos se presenta una pérdida de la capacidad estructural, sin embargo, se mantiene una condición funcional buena. Por lo que los deterioros funcionales no percibidos por el deflectómetro o el perfilómetro (IRI) en el campo pueden tener un mayor nivel de extensión o severidad. Los pavimentos que califican con esta nota son candidatos a mantenimientos de preservación de bajo costo, enfocadas a atender la pérdida de capacidad estructural, con el objetivo de detener o retardar su avance.
- Q4: Existe un deterioro en el pavimento que puede afectar la velocidad del tránsito. En pavimentos flexibles pueden presentarse grandes baches o grietas profundas, entre los deterioros se incluye pérdida de agregados y ahuellamiento, los cuales se encuentran en más del 50% de la superficie. Aunque la condición estructural es buena, la condición funcional presenta un deterioro importante que afecta la durabilidad del pavimento, aumentando la tasa de deterioro estructural de forma elevada. Debido al deterioro de la capa de rueda estos pavimentos pasarán a las categorías M-RF o Q7 en el mediano plazo. Estos pavimentos son candidatos a





intervenciones de tipo mantenimiento de mediano costo que se enfoquen a atender la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo.

- M-RF: En esta categoría se encuentran estructuras con un deterioro funcional extremo que afecta significativamente la velocidad del tránsito. Presentan grandes baches y grietas profundas en la carpeta asfáltica. El deterioro se presenta en más de la mitad de la superficie, comprometiendo la capacidad estructural del pavimento. Debido al deterioro en la capa de ruedo, en el corto plazo estos pavimentos pasarán a la categoría RH-RF. Los tramos que presentan esta categoría son candidatos a intervenciones de tipo de mantenimiento de alto costo, enfocadas en recuperar la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo para evitar un mayor deterioro de la capacidad estructural.
- Q5: Estas estructuras se encuentran en una condición de capacidad estructural y funcional intermedia por lo que es necesario realizar un análisis más detallado a nivel de proyecto.
- Q7: Los pavimentos en esta categoría tienen una condición de ruedo similar a los que se encuentran en la categoría Q4, sin embargo, presentan una peor condición estructural, por lo que deterioros como ahuellamientos, agrietamientos por fatiga o agrietamientos transversales y longitudinales es mayor. En estos pavimentos la velocidad del deterioro estructural y funcional se intensifica, por lo que se encuentran propensos a pasar a las categorías RH-RF o Q9 en el mediano plazo. Estos tramos son candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación menor, enfocadas a la recuperación de la pérdida de capacidad funcional en el mediano plazo con el fin de retardar o evitar un mayor deterioro de la capacidad estructural.
- RH-RF: Los pavimentos es esta categoría poseen una condición de ruedo similar a M-RF, sin embargo, presentan una peor condición estructural, por lo que la presencia de deterioros es mayor. En estos tramos la velocidad de deterioro se intensifica por lo que son propensos a pasar a la categoría R3 a corto plazo. Estas estructuras son candidatas a intervenciones de tipo rehabilitación menor, enfocadas en recuperar la pérdida de capacidad funcional y estructural en el corto plazo para evitar o retardar un mayor deterioro.





- Q6, Q8 y Q9: Estos tramos presentan una condición estructural muy deficiente, en el caso de que presenten una buena condición funcional en el momento de su evaluación, normalmente se debe a recapados o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido a dar aporte estructural significativo, por lo tanto son trabajos de poca durabilidad. La condición de pérdida acelerada de la capacidad estructural y funcional de estos pavimentos los convierte en candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida a corto plazo.
- R-1, R-2: Estos pavimentos presentan una condición estructural muy deficiente. Los tramos que se encuentran categorizados en esta condición y poseen una buena condición de la capa de ruedo se debe, principalmente, a la presencia de sobrecapas o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido, de manera significativa, a nivel estructural, por lo tanto, son trabajos de poca durabilidad y existe una rápida migración a notas como R-3 y NP, donde la alternativa de intervención es una reconstrucción del pavimento. Estos tramos son candidatos a intervenciones del tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida de forma inmediata.
- R-3, NP: Estos pavimentos presentan un altísimo nivel de deterioro. Donde la transitabilidad y la capacidad estructural son inferiores a los niveles aceptables para una carretera pavimentada. Estos tramos son candidatos a las inversiones de más alto costo, siendo tramos candidatos a una reconstrucción.

Cada tramo homogéneo es analizado categorizado según las Tablas 5,6 y 7, los resultados se muestran de manera gráfica en las siguientes figuras. Los tramos 28,52 y 83 no fue posible categorizarlos debido a que no se evaluó su condición superficial (IRI).

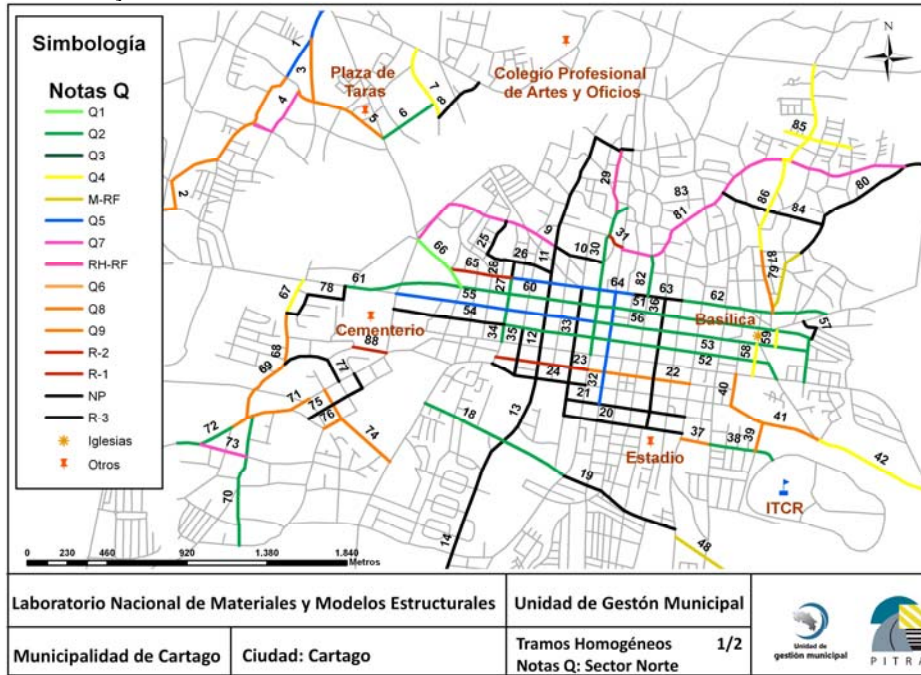


Figura 16. IRI promedio de los diferentes tramos analizados del cantón de Cartago, sector norte.

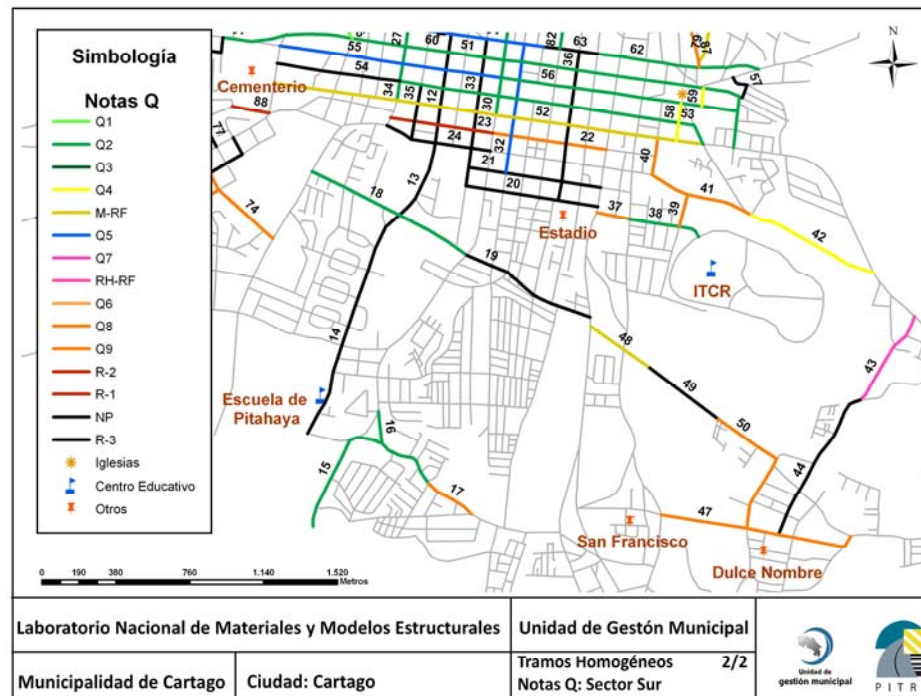


Figura 17. IRI promedio de los diferentes tramos analizados del cantón de Cartago, sector sur.



### 2.2.2 Estrategias de Intervención

Las notas de calidad asignadas a cada tramo son producto de la caracterización de la capacidad estructural y funcional de la red en estudio. El análisis realizado a los tramos homogéneos permite recomendar para cada uno de ellos, el tipo de estrategia de intervención que se requiere. Las intervenciones recomendadas son generales y se enfocan en el análisis a nivel de red, por lo que es una herramienta útil para la gestión en la definición de estrategias de intervención en un determinado periodo de tiempo, con el objetivo fundamental de mejorar el estado de la red vial de manera paulatina y sostenidamente.

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

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

- **Mantenimiento de Preservación:** Son aplicables a estructuras que se encuentran en buen estado (funcional y estructural), son intervenciones de bajo costo relativo. Existen diferentes tipos de intervenciones de este tipo, entre ellos: *sand seal*, *slurry seals*, *fog seal*, *chip seals*, sellados de grietas y microcarpetas entre otros. El objetivo fundamental de este tipo de intervenciones es prologar la vida útil del pavimento y corregir deterioros funcionales de leve intensidad.
- **Mantenimiento de recuperación funcional (IRI):** Su objetivo es mejorar la condición funcional del tramo, por lo que no necesariamente aportan estructuralmente. En estos casos se puede considerar labores de sustitución de la superficie de ruedo, recuperando los espesores existentes con material nuevo, o el uso de geotextiles para retardar el reflejo de grietas y una labor de perfilado o recuperación de la calzada. Este tipo de intervenciones deberían ser ejecutadas con prioridad alta, para

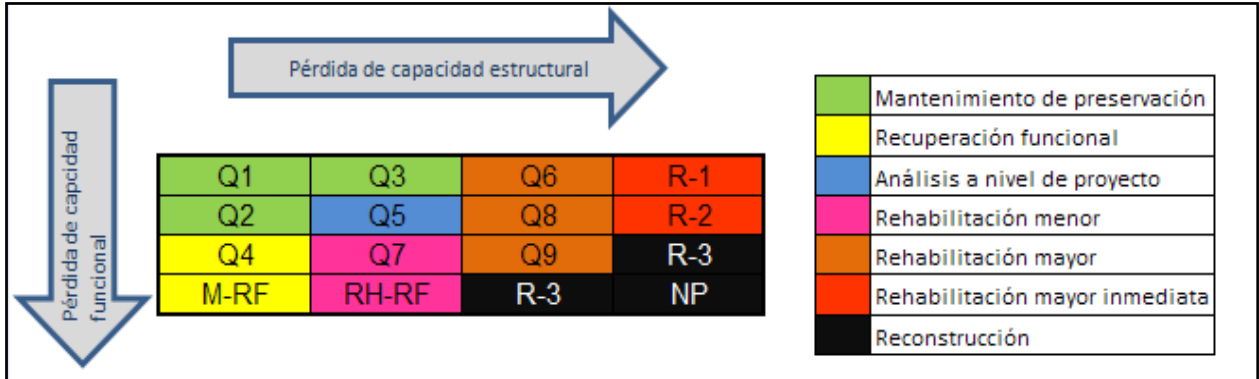


evitar que la gran irregularidad superficial provoque un daño en la capacidad estructural.

- Análisis a nivel de proyecto: Se requiere de una evaluación detallada del tramo con el fin de definir mejor el tipo de intervención adecuada.
- Rehabilitación Menor: Permite recuperar la capacidad estructural en niveles intermedios así como la capacidad funcional en niveles críticos. En estos tramos se podría aplicar un perfilado y una sobrecarpeta.
- Rehabilitación Mayor: Los tramos que califican para este tipo de intervención requieren una recuperación importante de la capacidad estructural. Por lo que se recomienda un perfilado y la colocación de una nueva sobrecarpeta que responda a un diseño estructural que considere la capacidad estructural remanente de la sección existente para un período de diseño determinado.
- Reconstrucción: Renovación de la estructura del camino, con previa demolición parcial o total de la estructura del pavimento. Este tipo de intervención es la de más alto costo y requiere de un diseño estructural formal.

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





**Figura 18.** Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad.

En la siguiente Tabla se muestra un resumen de cada uno de los tramos homogéneos, así como la nota de calidad asignada y el tipo de intervención requerida. El tipo de intervención definida como “recuperación de la condición funcional” es presentada como “Recuperación del IRI”

En la siguiente Tabla se muestra un resumen de cada uno de los tramos homogéneos, así como la nota de calidad asignada y el tipo de intervención requerida. El tipo de intervención definida como “recuperación de la condición funcional” es presentada como “Recuperación del IRI”





**Tabla 8.** Resumen de las características de cada tramo homogéneo.

Tramo	Longitud (m)	FWD*	IRI**	TPD***	Nota de Calidad	Tipo de intervención
1	499	84,6	5,32	4000	Q5	Análisis a nivel de proyecto
2	1193	94,9	8,25	4000	Q9	Rehabilitación mayor
3	369	97,7	6,09	4000	Q8	Rehabilitación mayor
4	393	87,6	8,57	4000	Q7	Rehabilitación menor
5	577	106,1	5,06	4000	Q8	Rehabilitación mayor
6	358	67,3	5,22	3102	R-2	Rehabilitación mayor
7	453	51,7	7,82	4000	Q4	Recuperación del IRI
8	314	96,3	10,28	3102	R-3	Reconstrucción
9	944	76,8	7,52	1873	Q7	Rehabilitación menor
10	296	135,7	9,14	1873	R-3	Reconstrucción
11	1166	89,2	10,70	4930	R-3	Reconstrucción
12	570	165,3	12,23	4930	NP	Reconstrucción
13	944	96,1	11,66	2742	R-3	Reconstrucción
14	709	125,3	9,36	2742	R-3	Reconstrucción
15	662	60,0	4,25	6868	Q2	Mantenimiento de Preservación
16	501	58,9	6,21	11787	Q2	Mantenimiento de Preservación
17	274	92,2	3,84	11787	Q8	Rehabilitación mayor
18	906	17,9	3,61	4034	Q2	Mantenimiento de Preservación
19	717	89,5	10,38	3000	R-3	Reconstrucción
20	1167	142,6	10,76	4000	NP	Reconstrucción
21	687	131,5	8,41	4000	R-3	Reconstrucción
22	591	95,1	5,86	6920	Q8	Rehabilitación mayor

Tramo	Longitud (m)	FWD*	IRI**	TPD***	Nota de Calidad	Tipo de intervención
23	531	118,8	5,46	6920	R-2	Rehabilitación mayor (inmediata)
24	555	118,5	6,45	4717	R-3	Reconstrucción
25	278	98,5	12,56	4000	R-3	Reconstrucción
26	340	178,2	11,46	4000	NP	Reconstrucción
27	193	165,1	11,86	4000	NP	Reconstrucción
28	101	106,5	-	4000	-	-
29	379	85,8	10,91	4000	RH-RF	Rehabilitación menor
30	924	53,5	5,93	5123	Q2	Mantenimiento de Preservación
31	108	133,1	5,93	6000	R-2	Rehabilitación mayor (inmediata)
32	673	80,3	6,32	7018	Q5	Análisis a nivel de proyecto
33	284	98,4	14,81	3871	R-3	Reconstrucción
34	379	68,6	5,57	8586	Q2	Mantenimiento de Preservación
35	289	135,0	13,77	3608	NP	Reconstrucción
36	776	126,5	12,00	3314	NP	Reconstrucción
37	171	111,2	7,85	4000	R-3	Reconstrucción
38	380	49,4	6,39	4000	Q2	Mantenimiento de Preservación
39	169	43,3	7,36	4000	Q4	Recuperación del IRI
40	400	125,7	7,07	6028	R-3	Reconstrucción
41	347	96,5	8,53	6028	Q9	Rehabilitación mayor
42	698	69,3	9,11	6028	Q4	Recuperación del IRI
43	519	86,4	6,42	883	Q7	Rehabilitación menor
44	829	121,5	7,88	883	R-3	Reconstrucción



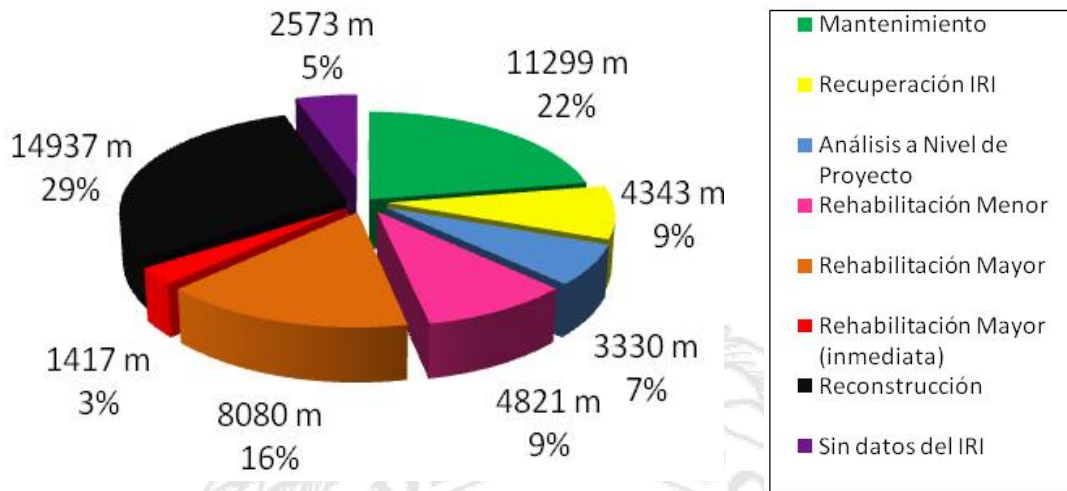
Tramo	Longitud (m)	FWD*	IRI**	TPD***	Nota de Calidad	Tipo de intervención
45	209	73,7	6,97	4000	Q4	Recuperación del IRI
46	516	105,5	7,61	4000	Q9	Rehabilitación mayor
47	1021	97,8	8,03	1000	Q9	Rehabilitación mayor
48	372	76,0	10,54	3000	M-RF	Recuperación del IRI
49	439	104,5	10,39	3000	R-3	Reconstrucción
50	761	103,9	9,02	3000	Q9	Rehabilitación mayor
51	1780	38,9	4,48	12017	Q2	Mantenimiento de Preservación
52	2228	52,8	-	6000	-	-
53	1638	55,8	4,88	9253	Q2	Mantenimiento de Preservación
54	638	150,4	7,22	9253	R-3	Reconstrucción
55	1151	76,8	4,07	13566	Q5	Análisis a nivel de proyecto
56	1229	68,8	4,65	13566	Q2	Mantenimiento de Preservación
57	163	117,7	8,90	2000	R-3	Reconstrucción
58	193	60,1	6,73	4000	Q4	Recuperación del IRI
59	94	71,2	7,88	6000	Q7	Rehabilitación menor
60	500	58,1	4,75	12017	Q2	Mantenimiento de Preservación
61	673	24,8	4,20	6000	Q2	Mantenimiento de Preservación
62	838	73,7	5,20	8839	Q5	Análisis a nivel de proyecto
63	281	125,8	7,05	8839	R-3	Reconstrucción
64	702	78,9	5,45	8839	Q5	Análisis a nivel de proyecto
65	358	142,1	6,05	8839	R-2	Rehabilitación mayor (inmediata)
66	377	32,6	3,33	12017	Q1	Mantenimiento de Preservación

Tramo	Longitud (m)	FWD*	IRI**	TPD***	Nota de Calidad	Tipo de intervención
67	213	67,1	8,00	4108	Q4	Recuperación del IRI
68	304	96,6	6,14	4108	Q8	Rehabilitación mayor
69	414	96,3	9,87	4108	Q9	Rehabilitación mayor
70	783	74,8	5,86	4108	Q2	Mantenimiento de Preservación
71	487	92,4	3,88	4000	Q8	Rehabilitación mayor
72	334	68,3	4,43	4000	Q2	Mantenimiento de Preservación
73	272	86,5	8,88	4000	Q7	Rehabilitación menor
74	572	107,3	7,02	2579	Q9	Rehabilitación mayor
75	455	151,9	6,48	2579	R-3	Reconstrucción
76	114	112,8	5,39	4000	Q8	Rehabilitación mayor
77	403	157,4	13,32	4000	NP	Reconstrucción
78	479	142,7	11,06	4000	NP	Reconstrucción
79	414	69,5	11,44	4000	M-RF	Recuperación del IRI
80	964	90,5	11,60	2843	R-3	Reconstrucción
81	1896	82,4	8,22	4000	Q7	Rehabilitación menor
82	235	66,6	4,98	4000	Q2	Mantenimiento de Preservación
83	244	143,8	-	4000	-	-
84	602	116,2	10,25	2843	NP	Reconstrucción
85	391	71,1	7,83	4000	Q4	Recuperación del IRI
86	1231	73,0	9,44	4326	Q4	Recuperación del IRI
87	369	101,2	7,76	4326	Q9	Rehabilitación mayor
88	193	125,8	4,32	4326	R-2	Rehabilitación mayor (inmediata)

FWD \*: Las deflexiones asociadas se encuentran en unidades de longitud, específicamente  $\text{mm} \times 10^{-2}$ .

IRI \*\*: El valor del IRI para cada tramo se presenta en unidades de  $\text{m/km}$

TPD \*\*\*: Tránsito promedio diario asociado a cada tramos homogéneo. En las rutas en las que se realizaron los conteos se hizo uso de esos datos, por otro lado estos fueron extrapolados para las rutas que no cuentan con datos del tránsito vehicular.



**Figura 19.** Cantidad de kilómetros asociados a cada tipo de intervención.

Al realizar el análisis de la cantidad de kilómetros asociados a los diferentes tipos de intervenciones, es posible observar en las Figuras 16, 17 y 19 que una gran parte de la red analizada (22%) requiere mantenimiento de preservación para prolongar la vida útil de estos tramos y mantener ofreciendo a los usuarios una buena condición superficial. Por otro lado, 1,4 km que requieren una rehabilitación mayor de forma inmediata para evitar que se deterioren al punto que requieran una reconstrucción. Cerca de 15 kilómetros requieren una reconstrucción parcial o total de la estructura debido al nivel de deterioro que esta presenta, para determinar si se trata de una reconstrucción parcial (sustitución y/o mejoramiento de una o más capas granulares y renovación de la capa asfáltica) o la reconstrucción total (sustitución completa de la estructura del pavimento) es necesario analizar cada tramo a nivel de proyecto considerando las características propias del tramo, tales como tránsito vehicular, drenajes, propiedades de las capas granulares existentes, entre otras, esto para poder realizar un diseño formal de la intervención que se ejecutará.

Para determinar el tipo de intervención que requieren los tramos 28,52 y 83 es necesario realizar un análisis específico de estos, ya que se cuenta con los datos de la condición estructural (FWD) pero no con los datos necesarios para calcular el IRI. Además, los tramos 1, 32, 55, 62 y 64 requieren realizar un análisis al nivel de proyecto al poseer condiciones estructurales y funcionales intermedias.



### 3. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS

Los resultados y recomendaciones que se detallan en la sección 2 de este documento son una herramienta que permite determinar el tipo de intervención adecuada para cada tramo en función de la condición funcional y estructural de cada uno de ellos, sin embargo, en esta sección se mencionan otros aspectos cuyo uso facilitaría la toma de decisiones respecto a los tramos, el año y el tipo de intervención que se ejecutará, lo cual es necesario en un plan de inversiones a mediano o largo plazo.

#### 3.1 Diseño y Costos de los Tratamientos

Se recomiendan diferentes tipos de intervenciones generales según el estado en el que se encuentre cada uno de los tramos analizados, las cuales van desde intervenciones de mantenimiento, recuperación de IRI y rehabilitación menor hasta intervenciones de mayor costo como la rehabilitación mayor y reconstrucción.

Ya que lo que se requiere es el costo de las intervenciones a nivel de red, una de los procedimientos para poder realizar las estimaciones es determinar tipos de estructuras característicos de la red, en cuanto a capas que lo componen y espesores (información que se genera con los sondeos), esta información en combinación con los datos generados por medio del uso del deflectómetro de impacto permite estimar los módulos para cada capa del pavimento, con esta información es posible generar diseños característicos que permitan identificar el costo aproximado para cada tipo de intervención.

Los costos 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 totales 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. El objetivo es determinar el costo unitario real para el municipio, por ejemplo cual es el costo de recarpeteo para el municipio en función del espesor colocado de mezcla asfáltica.

Es importante aclarar que los diseños típicos o generales para estimar el costo de las intervenciones es general.

### **3.2 Escenarios de inversión**

Una vez que se cuente con la información 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 ideal analizar diferentes escenarios de intervención, en los cuales se pueden considerar tanto diferentes presupuestos como políticas de intervención, tales como intervenir las vías de mayor tránsito, con un mayor deterioro o intervenir las carreteras antes de cambien de tipo de intervención (intervenir un tramo que se encuentra en el límite de rehabilitación, para evitar que pase a reconstrucción), lo que maximiza los recursos disponibles. Esto se realiza con el objetivo de que la administración determine el presupuesto y la estrategia que más se adapta a los recursos disponibles y las metas institucionales que posee la municipalidad. Es muy importante que el plan quinquenal generado se adapte a las políticas institucionales y que todos los involucrados en la aprobación y ejecución se encuentren informados y de acuerdo con este, ya que de esto dependerá su exitosa ejecución.





## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Se generaron 88 tramos homogéneos, 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, cada uno de ellos fue caracterizado según su condición estructural y funcional, la cual se utilizó como insumo para determinar el tipo de intervención que requiere cada uno de estos.

La condición estructural, en las vías analizadas, presenta deficiencias en la mitad de la red, lo que representa aproximadamente 26 km (condición estructural mala o severamente deteriorada), 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 otro lado es importante destacar que cerca de una tercera parte posee una condición estructural buena, condición que se presenta principalmente en las avenidas del casco central, a pesar del alto tránsito que circula por esta ruta.

En cuanto a la capacidad funcional de la red, se tiene que más del 20% de la red tiene un IRI superior a 10 m/km, lo que implica una irregularidad superficial muy alta, lo que implica 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. Poco más de una tercera parte de la red evaluada posee un IRI regular (3,6-6,4 m/km). En cuanto a la distribución de las rutas según su estado, se puede observar que las rutas que poseen una condición regular se ubican, principalmente, sobre los cuadrantes centrales, mientras que en la periferia de estos las rutas tienden a tener una mayor irregularidad, siendo más frecuentes las rutas con IRI malo o muy malo.

Entre los resultados más relevantes del análisis de la red vial cantonal de Cartago, en relación con las notas de calidad obtenidas para cada tramo homogéneo, se obtiene que

Informe LM-PI-GM-15-12	Fecha de emisión: Setiembre de 2012	Página 40 de 45
------------------------	-------------------------------------	-----------------



poco menos de la tercera parte de la red evaluada requiere una reconstrucción parcial o total, cerca del 20% requiere una rehabilitación mayor de los cuales 1,4 km requieren una intervención inmediata para evitar que pase a una condición en donde la inversión requerida sea mayor (reconstrucción). Por otro lado un 22% de la red posee buenas condiciones estructurales y funcionales, por lo que se le deben aplicar intervenciones de tipo mantenimiento (bajo costo) para mantenerla en este estado y evitar tener que hacer una inversión mayor en un futuro debido al deterioro por falta de este.

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.

Además las recomendaciones de intervención se establecen basadas en la condición actual del pavimento y 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.

Mediante una gira de campo realizada el presente año a los diferentes tramos se evidencia que el municipio ha hecho una fuerte inversión en la colocación de mezcla asfáltica sobre algunos de los tramos en estudio, por lo que es posible que la condición de algunos tramos haya cambiado. No obstante es necesario aclarar que la condición estructural es mejorada de manera representativa al aplicar recarpeteos mayores a los 4 cm, sin embargo, esto no implica que se haya incrementado a la capacidad estructural requerida, ya que el espesor necesario requiere de un diseño que depende de las condiciones actuales de los materiales de las diferentes capas y el tránsito vehicular.

Además ciertos tramos que se encontraban en condiciones intermedias en el momento de la evaluación evidencian un deterioro importante, por lo que probablemente hayan cambiado la nota de calidad a la asociada a un pavimento en condiciones en las que requieren rehabilitación mayor o reconstrucción.

Informe LM-PI-GM-15-12	Fecha de emisión: Setiembre de 2012	Página 41 de 45
------------------------	-------------------------------------	-----------------



Para rutas cuyo objetivo es mejorar la condición superficial (rutas con IRI alto) se requiere un fresado (perfilado) que elimine las irregularidades importantes antes de realizar un recarpeteo, ya que si no se realiza no se mejora de manera considerable su regularidad, esto es de esperar en rutas que requerían recuperación funcional (de IRI) que son recarpeteadas y no se realizan los trabajos correspondientes de fresado (perfilado).

Una intervención de tipo estructural en alguno de los tramos evaluados entre la fecha de evaluación y la presentación de este informe puede modificar de manera significativa su estado estructural y funcional, por lo que esto generaría un cambio en la nota de calidad y por ende un cambio en el tipo de intervención requerido.

## 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 3.2 de este informe).

Es importante que los tramos que califican para ser intervenidos con una rehabilitación mayor inmediata sean atendidos basados en un diseño formal del tipo de intervención (incluyendo la sobrecapa) con el fin de evitar que pase a un nivel de deterioro en el que se requiera una reconstrucción. Además es importante realizar la inversión necesaria en las rutas que se encuentran en buen estado estructural (mantenimiento de preservación o recuperación de IRI), para hacer inversiones de bajo costo y evitar tener que hacer inversiones mayores a mediano o largo plazo.

Es necesario que el municipio 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, preferiblemente basadas en la condición de la

Informe LM-PI-GM-15-12	Fecha de emisión: Setiembre de 2012	Página 42 de 45
------------------------	-------------------------------------	-----------------



red en estudio, las cuales se presentan en el diagnóstico (Informe LM-PI-UM-02-10) y el presente informe, de manera que se encuentren acordes a la realidad del estado de la red en cuestión y los recursos disponibles.







## 5. REFERENCIAS

- Badilla V, G. “Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)” *Infraestructura Vial*, N°21 (Febrero 2009).
- Hass, R.; Hudson, W.R.; Zaniewski, J. (1993). *Modern Pavement Management*. R.E. Krieger Publishing Company, Florida.
- López Ramírez, Sharline. Sistema piloto de administración de pavimentos en la Municipalidad de Cartago, Heredia. Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, Costa Rica. Febrero, 2009.
- 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.
- Amador Luis, Mrawira Donath. (January 2008) Performance Modeling for Asset Management: What to when you only have two data points; University of New Brunswick.
- 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.
- Informe LM-PI-PM-04-09, Informe de Avance: Desarrollo de un sistema para la conservación vial en la municipalidad de Cartago. Proyecto Municipal, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José, Costa Rica. Agosto, 2009.
- Informe LM-PI-UE-05-11, Informe de Evaluación de la Red Vial Pavimentada de Costa Rica 2010-2011. Unidad de Evaluación de la Red Vial Municipal, Laboratorio



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales

Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José, Costa Rica. Mayo, 2011.

