



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

# PITRA

Programa de  
Infraestructura  
del Transporte

EVALUACIÓN DE LA RED VIAL  
CANTONAL DE CURRIDABAT:

DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS POR  
SECCIONES RED VIAL CANTONAL

LM-PI-GM-INF-04-17

PREPARADO POR  
Arias-Barrantes, Eliécer  
Vargas-Sobrado, Catalina  
Xu-Ye, Lilly  
Hernández-Quirós, Jorge  
De la Cruz-Villalobos, Sofía



programa de infraestructura  
del transporte

San José, Costa Rica  
Mayo, 2017

UGM

Unidad de  
Gestión Municipal

# EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE CURRIDABAT: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS POR SECCIONES EN LA RED VIAL CANTONAL

**Arias-Barrantes Eliécer<sup>1</sup>, Vargas-Sobrado Catalina<sup>2</sup>, Xu-Ye Lilly<sup>3</sup>, Hernández-Quirós Jorge<sup>4</sup>, De la Cruz-Villalobos Sofia<sup>5</sup>**

1. *Ingeniero Unidad de Gestión Municipal PITRA LanammeUCR*
2. *Ingeniera Unidad de Gestión Municipal PITRA LanammeUCR*
3. *Ingeniera Unidad de Gestión Municipal PITRA LanammeUCR*
4. *Asistente Unidad de Gestión Municipal PITRA LanammeUCR*
5. *Asistente Unidad de Gestión Municipal PITRA LanammeUCR*

**Palabras Clave:** PITRA, Evaluación, Gestión, Red vial cantonal, Curridabat

**Resumen:** El estudio realizado en las principales rutas de la red vial cantonal de Curridabat en el año 2015, contempla el diagnóstico de la red vial, la identificación y caracterización a secciones de la carretera que presenten condiciones similares de deterioro.

En el presente informe se detalla el análisis de aproximadamente 14,8 km, donde se identificaron un total de 33 tramos de estudio, que posteriormente fueron analizadas por medio de diferentes parámetros como: deflectometría, IRI (Índice de Regularidad Internacional), conteos vehiculares, entre otros.

El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo indicó que un 46 % (6,8 km) de la longitud evaluada presentan una condición deficiente a muy deficiente con respecto a capacidad estructural. En cuanto a los valores promedio de IRI, se determinó que aproximadamente 12 km (81 %) presenta un IRI superior a 6,4 m/km, que corresponde a una condición mala o muy mala.

Uno de los productos más importantes que se incluye en el análisis es la propuesta del tipo de intervención general a nivel de red, basados en el estado al momento de las evaluaciones de cada uno de los tramos analizados. 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.

---

## Referencias

1. Arias-Barrantes, E., & Allen-Monge, J. (2014). Clasificación de los resultados obtenidos por el deflectómetro de impacto para la evaluación estructural de la red vial cantonal de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
2. Badilla V., G. (2009). "Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)" Infraestructura Vial, N°21. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
3. López-Ramírez, Sharline. (2009). 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: Universidad de Costa Rica.
4. Barrantes-Jimenez, R., Sibaja-Obando, D., Porras-Alvarado, J. (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 (UIIV). San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
5. Barrantes-Jimenez, R., Sibaja-Obando, D., Porras-Alvarado, J. (2008). Proyecto N° UI-PC-04-08 Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices de red vial nacional. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR

# EVALUATION OF THE CANTONAL ROAD NETWORK OF CURRIDABAT: DIAGNOSIS AND ANALYSIS BY SECTIONS IN THE CANTONAL ROAD NETWORK

Arias-Barrantes Eliécer<sup>1</sup>, Vargas-Sobrado Catalina<sup>2</sup>, Xu-Ye Lilly<sup>3</sup>, Hernández-Quirós Jorge<sup>4</sup>, De la Cruz-Villalobos Sofía<sup>5</sup>

1. Engineer Municipal Management Department PITRA LanammeUCR
2. Engineer Municipal Management Department PITRA LanammeUCR
3. Engineer Municipal Management Department PITRA LanammeUCR
4. Assistant Municipal Management Department PITRA LanammeUCR
5. Assistant Municipal Management Department PITRA LanammeUCR

**Keywords:** PITRA, Evaluation, Management, Cantonal road network, Curridabat

**Abstract:** The study on major routes of the cantonal road network of Curridabat in 2015, includes a diagnosis of the road network, the identification and characterization of different sections in the cantonal road network of Curridabat according to the streets and avenues in the area of interest.

This report includes the analysis of 14,8 km in the cantonal road network of Curridabat, associated to 33 sections analyzed with vehicular counts, international roughness index and falling weigh deflectometer (FWD).

The results of this analysis show that 46 % (6,8 km) evaluated with FWD has a poor to very poor condition and 12 km (81 %) has a international roughness index superior to 6,4 m/km which mean that the condition is also poor.

One of the most important products included in the analysis, is the proposal of general intervention type at network level, based on the condition of each sections at the moment of evaluations. The information in this report is a useful tool for efficient and effective management of the resources that the local government has for the maintenance and improvement of the road network that it manages.

---

## References

1. Arias-Barrantes, E., & Allen-Monge, J. (2014). Clasificación de los resultados obtenidos por el deflectómetro de impacto para la evaluación estructural de la red vial cantonal de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
2. Badilla V., G. (2009). "Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)" Infraestructura Vial, N°21. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
3. López-Ramírez, Sharline. (2009). 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: Universidad de Costa Rica.
4. Barrantes-Jimenez, R., Sibaja-Obando, D., & Porras-Alvarado, J. (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 (UIIV). San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
5. Barrantes-Jimenez, R., Sibaja-Obando, D., & Porras-Alvarado, J. (2008). Proyecto N° UI-PC-04-08 Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices de red vial nacional. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR

Arias-Barrantes, E., Vargas-Sobrado, C., Xu-Ye, L., Hernández-Quirós, J., & De la Cruz-Villalobos, S. (2017). *Evaluación de la red vial cantonal de Curridabat: Diagnóstico y análisis por secciones en la red vial cantonal*. San José: Programa de infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

# Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-GM-INF-04-17

## **EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE CURRIDABAT: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS POR SECCIONES EN LA RED VIAL CANTONAL**

Preparado por:  
Unidad de Gestión Municipal  
LanammeUCR

San José, Costa Rica  
Mayo, 2017



<b>1. Informe</b> LM-PI-GM-INF-01-17		<b>2. Copia No.</b> 1	
<b>3. Título y subtítulo:</b> EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE SAN JOSÉ, DISTRITO DE PAVAS: DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS POR SECCIONES EN LA RED VIAL CANTONAL.		<b>4. Fecha del Informe:</b> Marzo, 2017	
<b>5. 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>6. Notas complementarias</b>			
<b>7. Resumen</b> <i>El estudio realizado en las principales rutas de la red vial cantonal del distrito de Pavas durante el año 2014, contempla el diagnóstico de la red vial, la identificación y caracterización a secciones de la carretera que presenten condiciones similares de deterioro.</i> <i>En el presente informe se detalla el análisis de aproximadamente 13,4 km, donde se identificaron un total de 20 secciones de análisis que fueron analizadas por medio de diferentes parámetros como: deflectometría, IRI (Índice de Regularidad Internacional), conteos vehiculares, entre otros.</i> <i>El análisis de los datos de deflectometría promedio para cada tramo indicó que un 54 % (7,3 km) de la longitud evaluada presentan una condición deficiente a muy deficiente con respecto a capacidad estructural. En cuanto a los valores promedio de IRI, se determinó que aproximadamente 7 km (52 %) presenta un IRI superior a 6,4 m/km, que corresponde a una condición mala o muy mala.</i> <i>Uno de los productos más importantes que se incluye en el análisis es la propuesta del tipo de intervención general a nivel de red, basados en el estado al momento de las evaluaciones de cada uno de los tramos analizados. 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>Es importante aclarar que resultados preliminares fueron entregados a la Municipalidad durante el año 2015 y 2016.</b>			
<b>8. Palabras clave</b> PITRA, Evaluación, Gestión, Red vial cantonal, Pavas, San José		<b>9. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>10. Núm. de páginas</b> 50
<b>11. Preparado por:</b> Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 23/03/17		<b>12. Encargado de convenio</b> Ing. Josué Quesada Campos Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 23/3/17	<b>13. Colaboradores</b> Lilly Xu Ye Asistente de ingeniería
<b>14. Revisado por:</b> Ing. Carlos Campo Cruz Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 23/03/17	<b>15. Revisado por:</b> Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Lanamme UGR  Fecha: 1	<b>16. Aprobado por:</b> Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 23/03/17	



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
1.1	ASESORÍA TÉCNICA .....	6
1.2	CAPACITACIÓN.....	7
1.3	MUESTREOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO.....	7
1.4	RECURSOS FINANCIEROS .....	7
1.5	DECRETO N°34624: REGLAMENTO AL ARTÍCULO 5 INCISO B) DE LA LEY 8114.....	7
<b>2</b>	<b>PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL.....</b>	<b>8</b>
2.1	IMPORTANCIA .....	8
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP) .....	9
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL .....	11
2.4	ESQUEMA METODOLÓGICO.....	13
<b>3</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE CURRIDABAT .....</b>	<b>14</b>
3.1	OBJETIVO.....	14
3.2	ACTIVIDADES .....	14
3.2.1	<i>TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD).....</i>	<i>15</i>
3.2.2	<i>IDENTIFICAR LA CONDICIÓN FUNCIONAL.....</i>	<i>19</i>
3.2.3	<i>IDENTIFICAR CONDICIÓN ESTRUCTURAL .....</i>	<i>23</i>
3.2.4	<i>ANÁLISIS POR RUTAS .....</i>	<i>26</i>
3.2.5	<i>NOTAS DE CALIDAD .....</i>	<i>31</i>
3.3	TIPOS DE INTERVENCIÓN .....	38
3.4	DISEÑO Y COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	44
3.5	ESCENARIOS DE INVERSIÓN .....	45
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>46</b>
4.1	<i>CONCLUSIONES .....</i>	<i>46</i>
4.2	<i>RECOMENDACIONES.....</i>	<i>48</i>
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>49</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

TABLA 1. CATEGORIZACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL.....	21
TABLA 2. NOTAS DE CALIDAD DE ACUERDO CON LOS RESULTADOS DE LA CONDICIÓN DE IRI Y FWD. ....	32
TABLA 3. NOTA DE CALIDAD ASIGNADA A CADA TRAMO ANALIZADO EN LA LOCALIDAD DE CURRIDABAT. ....	36
TABLA 4. TIPO DE INTERVENCIÓN REQUERIDA A NIVEL DE RED PARA CADA TRAMO EVALUADO EN LA RED VIAL CANTONAL DE CURRIDABAT.....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS.....	10
FIGURA 2. ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL. ....	12
FIGURA 3. ESQUEMA METODOLÓGICO.....	13
FIGURA 4. RUTAS ANALIZADAS EN EL CANTÓN DE CURRIDABAT.....	15
FIGURA 5. MANGUERAS Y CONTADORES AUTOMÁTICOS EN SITIO.....	16
FIGURA 6. CONFIGURACIÓN DE LOS CONTADORES. ....	17
FIGURA 7. UBICACIÓN DE LOS CONTEOS EN LA LOCALIDAD DE CURRIDABAT .....	18
FIGURA 8. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN LA LOCALIDAD DE CURRIDABAT. ....	19
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN FÍSICA DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL.....	20
FIGURA 10. PERFILÓMETRO INERCIAL LÁSER.....	21
FIGURA 11. CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN CURRIDABAT.....	22
FIGURA 12. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN SEGÚN EL IRI.....	23
FIGURA 13. EQUIPO DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO. ....	23
FIGURA 14. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PARA UNA ESTRUCTURA CON BASE GRANULAR EN LA RVC.....	24
FIGURA 15. CONDICIÓN DEL FWD PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN CURRIDABAT. ....	25
FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO SEGÚN RESULTADOS DE FWD. ....	25
FIGURA 17. UBICACIÓN DE DIFERENTES SECCIONES DE ANÁLISIS. ....	27
FIGURA 18. DEFLECTOMETRÍA PROMEDIO DE LAS VÍAS ANALIZADAS. ....	28
FIGURA 19. PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO. .	29
FIGURA 20. PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN FWD PROMEDIO.....	29





FIGURA 21. IRI PROMEDIO PARA LAS VÍAS ANALIZADAS. ....	30
FIGURA 22. PORCENTAJE DE METROS LINEALES CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO. ....	31
FIGURA 23. PORCENTAJE DE TRAMOS CLASIFICADOS SEGÚN EL IRI PROMEDIO. ....	31
FIGURA 24. NOTAS DE CALIDAD PARA LOS TRAMOS ANALIZADOS. ....	37
FIGURA 25. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS NOTAS DE CALIDAD ASIGNADAS A CADA SECCIÓN ANALIZADA. ....	38
FIGURA 26. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA NOTA DE CALIDAD. ....	39
FIGURA 27. TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDOS PARA LA RED VIAL CANTONAL DE CURRIDABAT, SEGÚN LONGITUD ANALIZADA. ....	43
FIGURA 28. TIPOS DE INTERVENCIÓN REQUERIDOS PARA LA RED VIAL CANTONAL DE CURRIDABAT, SEGÚN CANTIDAD DE TRAMOS. ....	43
FIGURA 29. TIPO DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA PARA CADA TRAMO ANALIZADO. ....	44



## 1 ANTECEDENTES

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

La ley No. 8603 reformó el artículo 6 de la ley No. 8114 con el siguiente texto: “Con la finalidad de garantizar la calidad de la red vial cantonal (RVC) y en lo que razonablemente sea aplicable, las municipalidades y la Universidad de Costa Rica, por intermedio del LanammeUCR, 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 Curridabat 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 Curridabat y la Universidad de Costa Rica suscribieron un Convenio Marco, que se rige, entre otros, por los siguientes aspectos:

### 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 Curridabat.
2. Evaluar la condición superficial y estructural de los pavimentos existentes.
3. Desarrollar e implementar una metodología para clasificar y priorizar la RVC.
4. Definir políticas y normas de ejecución para conservar la RVC.
5. Definir y diseñar las intervenciones técnicas de los proyectos a ejecutar.



6. Elaborar un plan de inversiones para implementar el plan de conservación.
7. Definir indicadores de evaluación del cumplimiento del plan de conservación.

## 1.2 Capacitación

LanammeUCR brindará capacitación a los funcionarios municipales y líderes comunales involucrados en el desarrollo e implementación del plan quinquenal de conservación de la red vial cantonal.

## 1.3 Muestreos, ensayos de laboratorio y campo

Se podrán realizar 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 Curridabat.

## 1.4 Recursos financieros

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

## 1.5 Decreto N°34624: Reglamento al artículo 5 inciso b) de la Ley 8114

Este reglamento denominado *“Reglamento sobre el Manejo, Normalización y Responsabilidad para la Inversión Pública en la Red Vial Cantonal”* 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.

En el artículo 14, el reglamento establece las distintas funciones que debe desempeñar la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal (UTGVM), y una de las principales corresponde a la elaboración y ejecución de los planes y programas de conservación y desarrollo vial, los cuales deben considerar criterios técnicos para la priorización de los caminos a intervenir.



Además, entre sus funciones la UTGVM 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. Asimismo, 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 con el transcurrir del 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. El segundo objetivo es conservar y mejorar la calidad del patrimonio vial que forma parte de los activos públicos del Estado.

La importancia del tema se enfoca en maximizar los beneficios obtenidos al invertir en la red vial cantonal de la Municipalidad de Curridabat 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 vial 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 usuarios, economía en operación de los vehículos y seguridad ante accidentes, para lo cual la municipalidad debe establecer planes y desarrollar proyectos de conservación y mejoramiento de sus vías de forma preventiva y garantizando un nivel de servicio adecuado de forma continúa.

A través de la aplicación del SAP se disminuye la incertidumbre de la inversión, dado que las decisiones se basan en estudios técnicos que permiten guiar de una mejor manera las inversiones, lo cual da lugar a 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: Tomado y modificado de Haas, 1993.

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

Asimismo, 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, habilitando la posibilidad de agregar, modificar y actualizar datos de manera sencilla.
- Capacidad de considerar estrategias alternas 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 realimentación 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 del paso de vehículos y el peso asociado a ellos, solicitudes de medio ambiente, materiales empleados y formas de construcción, mantenimiento, entre otros. 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 humana, la flota vehicular y la 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, que atraen con mayor fuerza la implementación de un sistema de gestión de pavimentos. Cabe destacar que el SAP no debe limitarse solamente a la conservación vial, sino que hay que definir proyectos de mejoramiento, refuerzo, rehabilitación, reconstrucción, ampliación de carreteras y nuevos proyectos carreteros.

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

### **2.3 Proceso de Gestión de Infraestructura Vial Municipal**

Para establecer un sistema de gestión vial es necesario delimitar todas sus fases y destacar de manera adecuada los productos asociados a cada una de ellas, la Figura 2 muestra el flujograma para el proceso de gestión vial en el ámbito municipal.

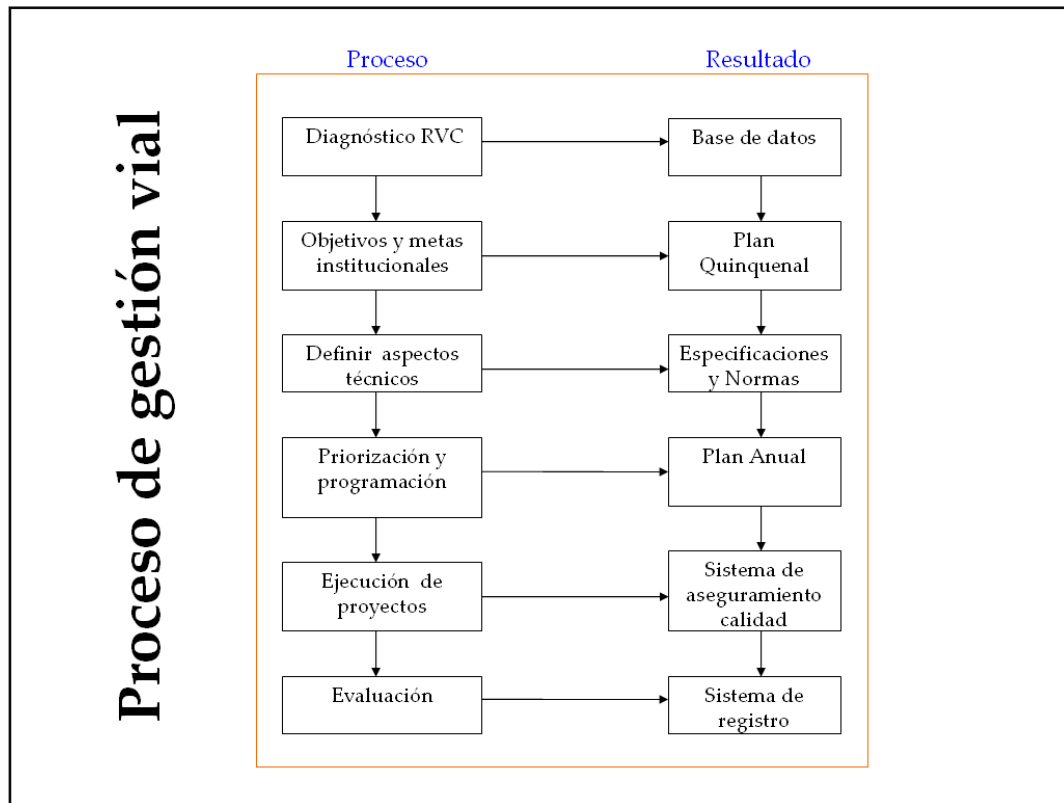


Figura 2. Esquema de proceso de gestión vial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

Cuando se elabora el diagnóstico de la red vial cantonal, el producto principal es la base de datos ya que permite determinar el estado actual de la red, insumo necesario para establecer políticas de priorización y planes de atención de las vías.

En los sistemas de administración de pavimentos, funcionan distintos niveles dependiendo del detalle:

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



## 2.4 Esquema Metodológico

En la Figura 3, se presenta el esquema metodológico implementado para determinar el diagnóstico de la RVC y obtener, a partir de los datos generados, diferentes escenarios de inversión, acorde con las posibilidades financieras del municipio. En el caso de la Municipalidad de Curridabat se realizaron tres de los elementos disponibles: conteos vehiculares, deflectometría e IRI, esto en acuerdo mutuo con la UTGVM.

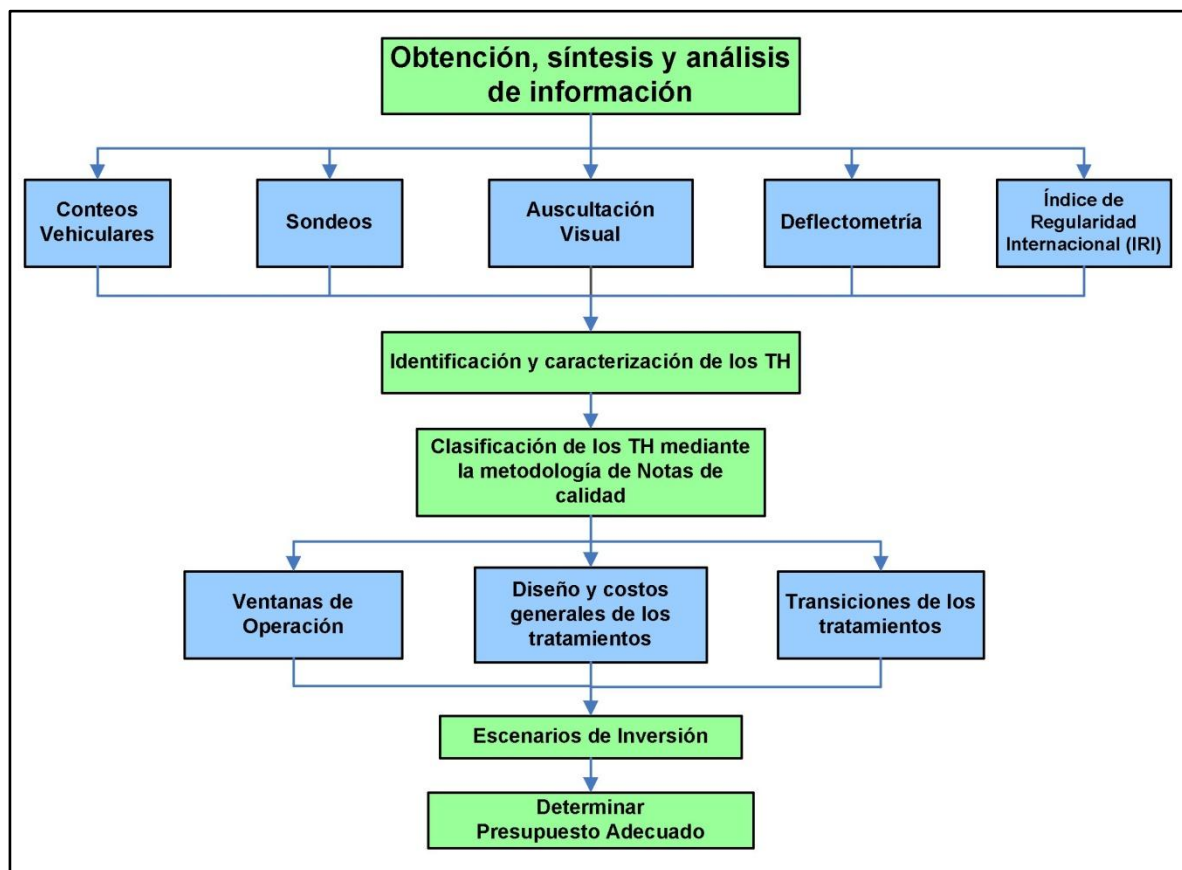


Figura 3. Esquema metodológico.



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

#### 3.1 Objetivo

Realizar una evaluación de la red vial cantonal (RVC) de Curridabat, con el fin de obtener una base de datos con diferentes características técnicas de la infraestructura vial.

#### 3.2 Actividades

Para realizar el diagnóstico de la RVC se dispone de actividades con productos asociados como:

1. Determinación del tránsito promedio diario (TPD) y clasificación vehicular.
2. Identificación de la condición funcional del pavimento.
3. Identificación de la condición estructural del pavimento.

Estas tres actividades se desarrollaron en las rutas que se muestran en la Figura 4, sin embargo, la evaluación de la condición estructural únicamente se realizó en las estructuras de pavimento con una superficie de ruedo elaborada a base de mezcla asfáltica, ya que los rangos de clasificación para la deflectometría empleados en este Informe no son representativos del comportamiento del pavimento cuando presenta concreto hidráulico en su rasante.

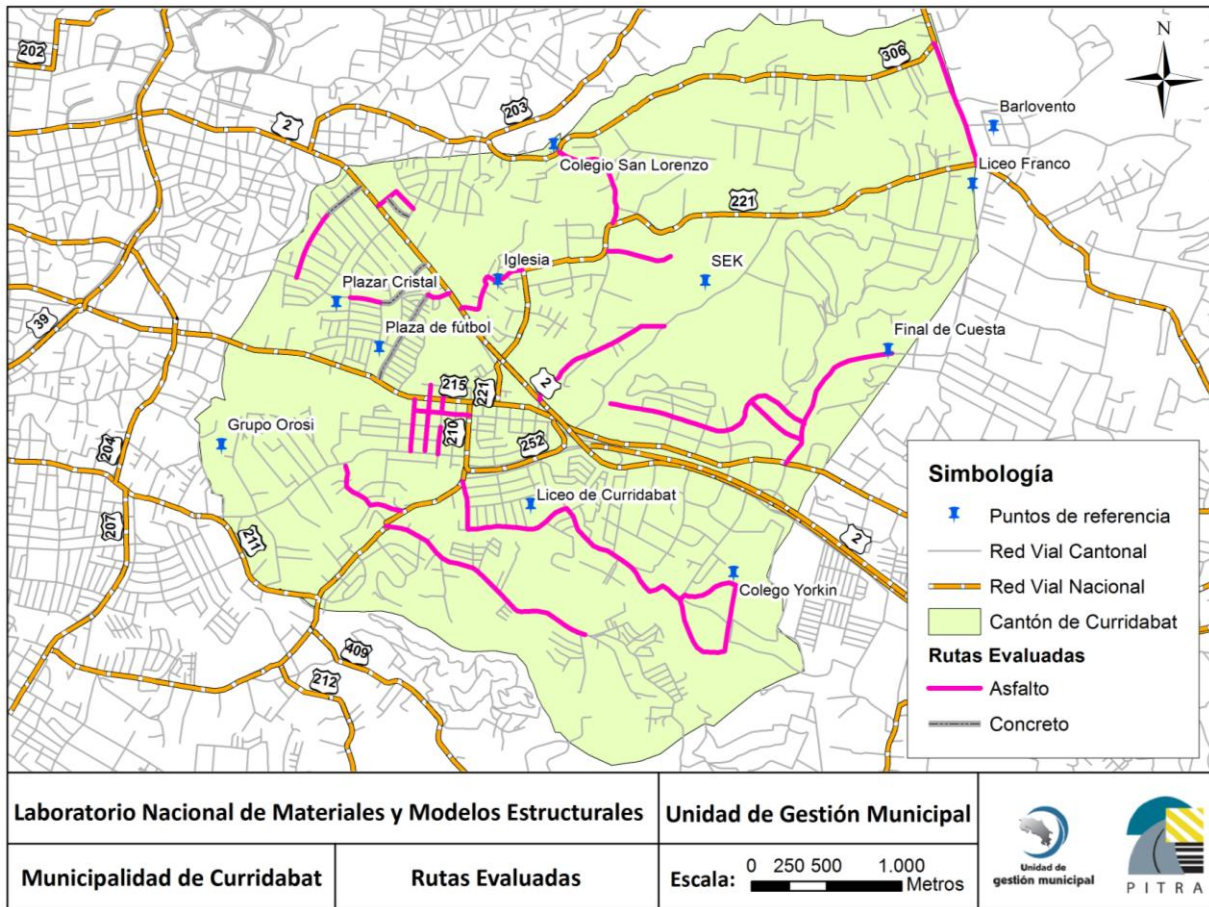


Figura 4. Rutas analizadas en el cantón de Curridabat.

### 3.2.1 Tránsito promedio diario (TPD)

En la inversión en la infraestructura vial es fundamental el conocimiento de las características del tránsito que circula sobre esta, tanto en cantidad como tipo de vehículos. Los datos actualizados del tráfico permiten identificar la demanda vehicular de la zona, el cual es un dato básico para diseñar una estructura del pavimento que se adapte a las necesidades del sitio, o bien para implementar medidas correctivas como un refuerzo o mantenimiento oportuno.

Por esto, la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal de la Municipalidad de Curridabat, realizó conteos vehiculares sobre sitios representativos de la red vial del cantón analizada



por medio de contadores neumáticos facilitados por el LanammeUCR, después de que los responsables de la UTGVM recibieran la respectiva capacitación.

Algunos aspectos que se deben considerar al realizar conteos de tránsito son:

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

Dado que el volumen y tipo de tránsito cambian constantemente, se recomienda realizar los conteos de manera periódica, aproximadamente cada año o máximo cada dos años. Además, de esta manera se identifica la tasa de crecimiento del tránsito vehicular para la red.

A continuación, se presentan dos configuraciones recomendadas para la colocación de los contadores vehiculares en campo (ver Figura 5 y Figura 6).

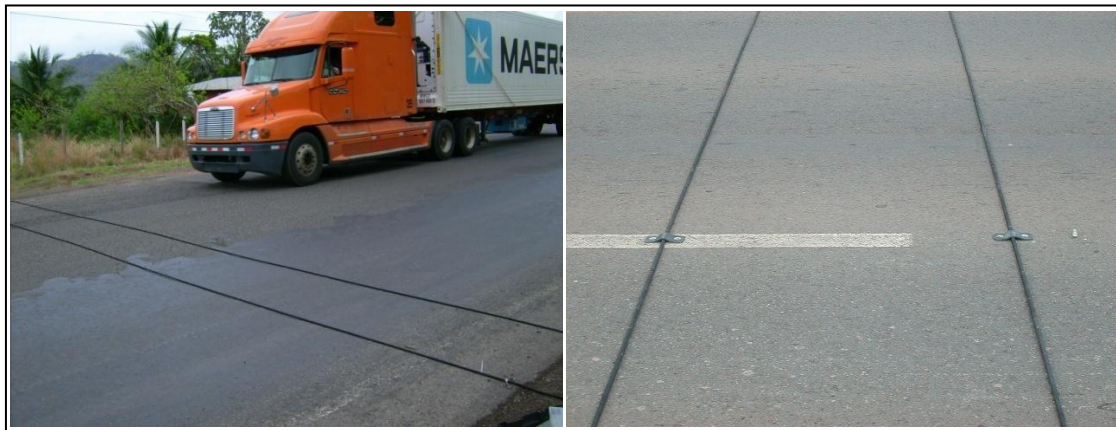


Figura 5. Mangueras y contadores automáticos en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

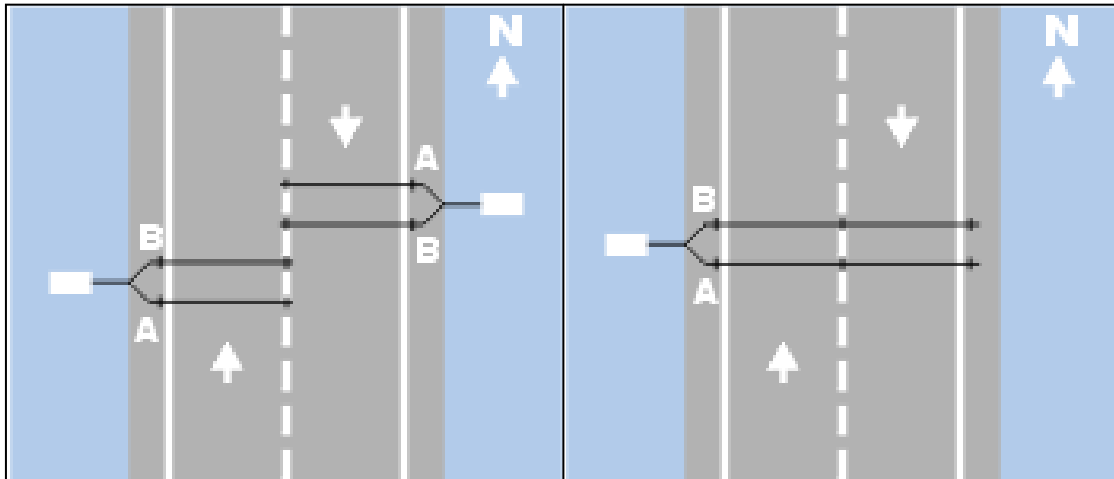


Figura 6. Configuración de los contadores.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

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

Durante el año 2015, la Municipalidad de Curridabat realizó un total de 21 conteos vehiculares en calles representativas de la zona analizada, con el propósito de caracterizar la flota vehicular y conocer el tipo de cargas a las cuales está sometida la estructura de pavimento. Además, en el año 2016 realizaron 2 conteos adicionales en el sector de Lomas de Ayarco, obteniendo un total de 23 conteos. En la figura 7, se muestra la ubicación exacta de los conteos realizados, con su respectivo valor de tránsito promedio diario (TPD) y tránsito promedio diario anual (TPDA), sin embargo, cabe recalcar que para los conteos del año 2016 no se obtuvieron los valores de TPDA, pues no se realizaron conteos semanales durante ese período.

Los vehículos pesados son los que ejercen un mayor desgaste sobre el pavimento y su porcentaje se obtiene mediante la suma de los diferentes tipos de vehículos pesados que transitan sobre la vía; los cuales corresponden a los camiones con eje simple trasero (C2+), camiones con eje dual trasero (C2), buses con eje dual trasero (C2 Bus), camiones con eje tándem trasero (C3) y tracto camiones con semirremolque (T3-S2). En la figura 8, se muestra el porcentaje de vehículos pesados obtenido para la red analizada, en donde el promedio corresponde a un valor de 4,1% con valores mínimos y máximos de 1,3% y 11,6%.

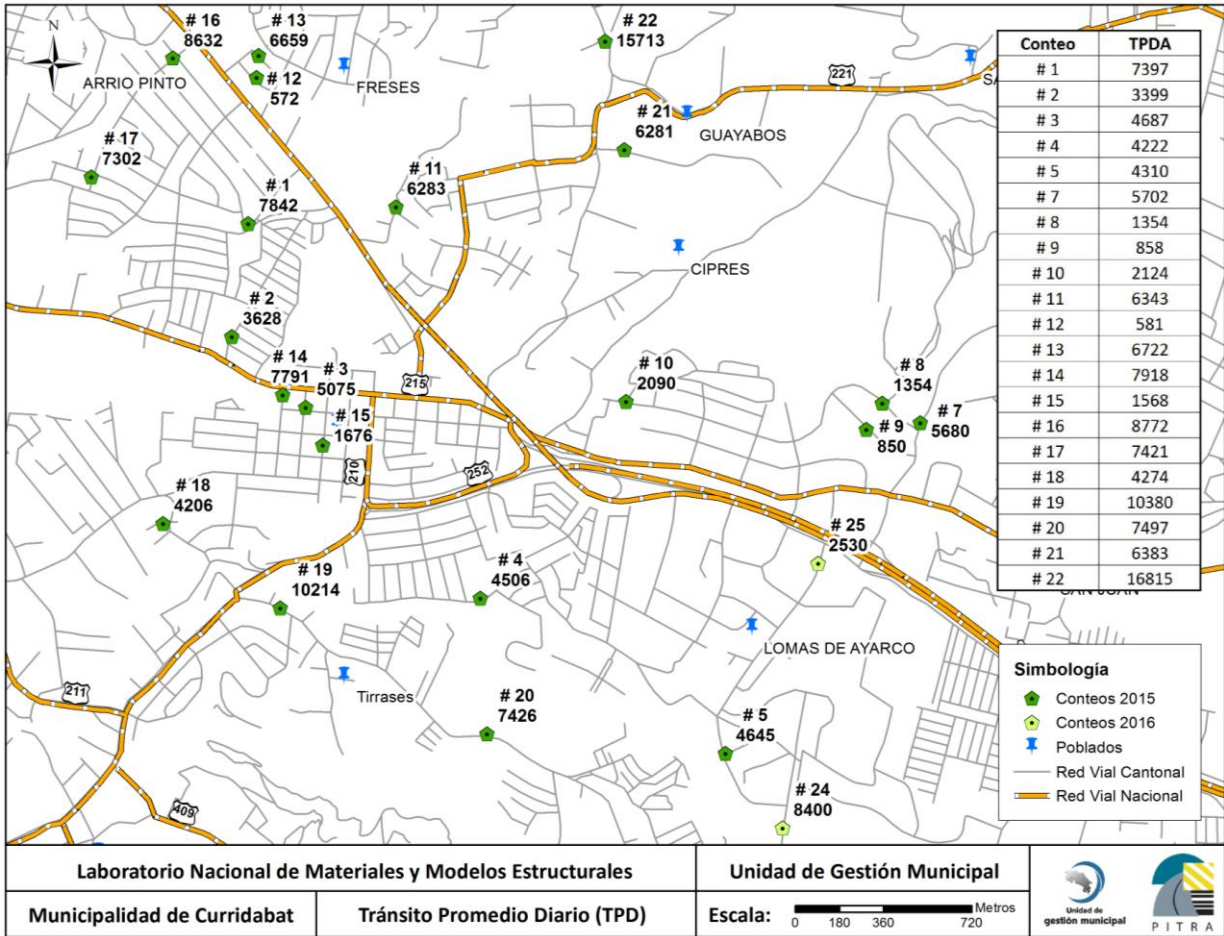


Figura 7. Ubicación de los conteos en la localidad de Curríabat

Fuente: LanammeUCR, 2015 (Información recopilada por UTGVM).

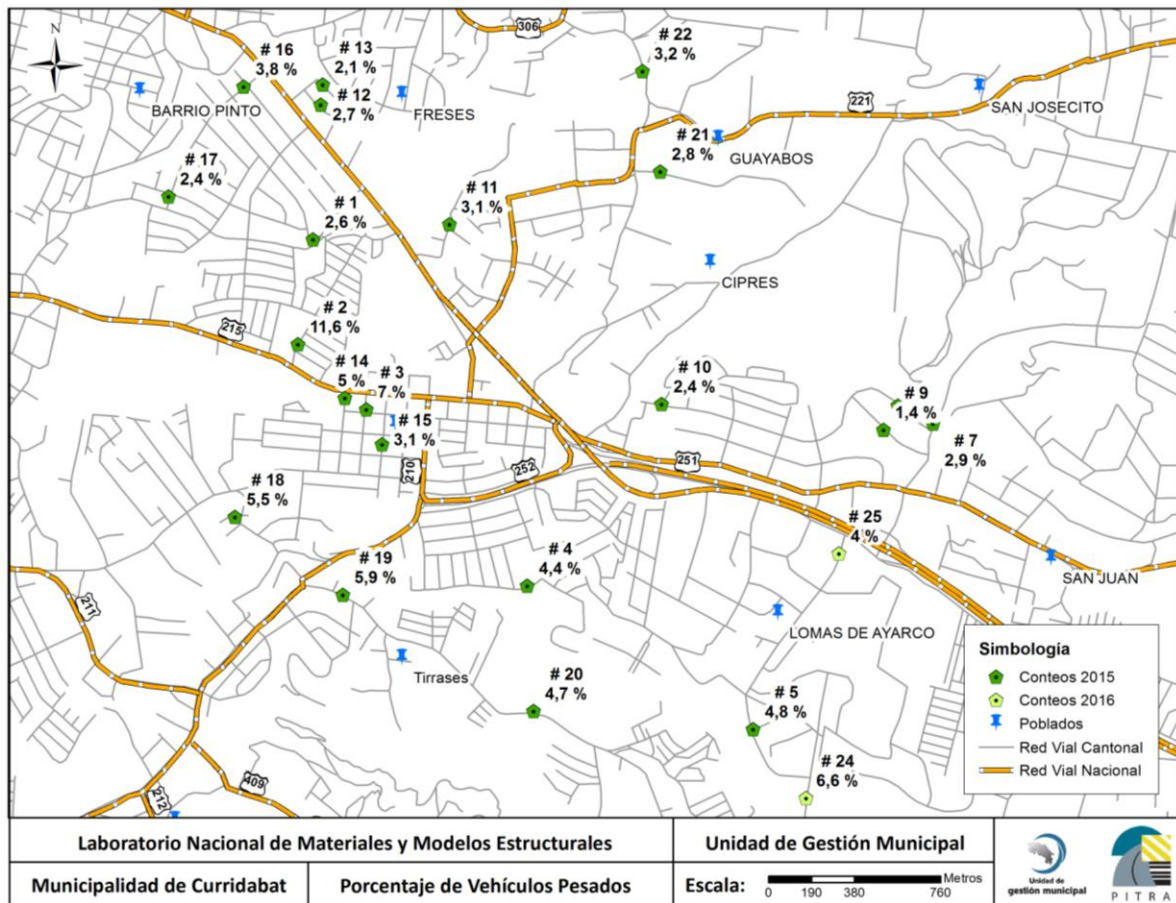


Figura 8. Porcentaje de vehículos pesados en la localidad de Curridabat.

Fuente: LanammeUCR, 2015 (Información recopilada por UTGVM).

### 3.2.2 Identificar la condición funcional

La condición funcional de una carretera corresponde a la habilidad de la vía para proporcionar servicio y confort a los usuarios, y es estimada mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

#### 3.2.2.1 Índice de Regularidad Internacional (IRI).

El IRI es utilizado en muchos países como parámetro de aceptación de obras y gestión de pavimentos, pues se encuentra relacionado con los costos de operación de los vehículos y la vida útil de los pavimentos.

Este parámetro 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; además, 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 presenta en la Figura 9.

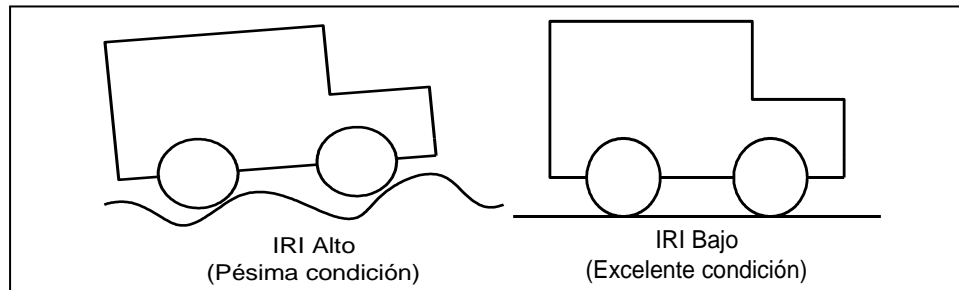


Figura 9. Representación física del Índice de Regularidad Internacional.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino; sin embargo, puesto que el IRI es el valor medio de los IRI unitarios, para ser preciso se debe especificar la longitud para la cual se determina dicho valor.

El equipo utilizado para la medición del IRI es del tipo Perfilómetro Inercial Laser, el cual es un equipo de alto rendimiento que produce 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 delantera del vehículo, como se muestra en el esquema de funcionamiento del equipo de la Figura 10.



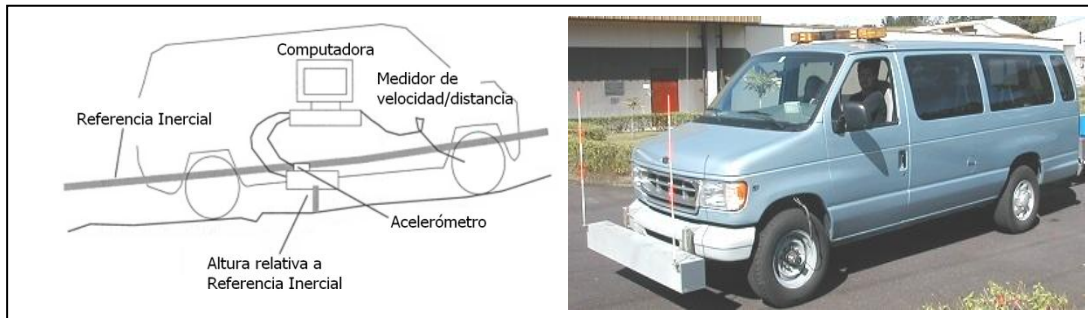


Figura 10. Perfilómetro Inercial Láser.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El IRI se calculó sobre la red vial pavimentada cada 25 metros durante el mes de abril del año 2015 abarcando las rutas contempladas en el convenio, es decir se cubrió una longitud aproximada de 15,9 km. En la Figura 11, se muestran gráficamente los resultados de estas mediciones, las cuales se clasificaron según la calidad funcional en cuatro rangos mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorización del Índice de Regularidad Internacional.

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

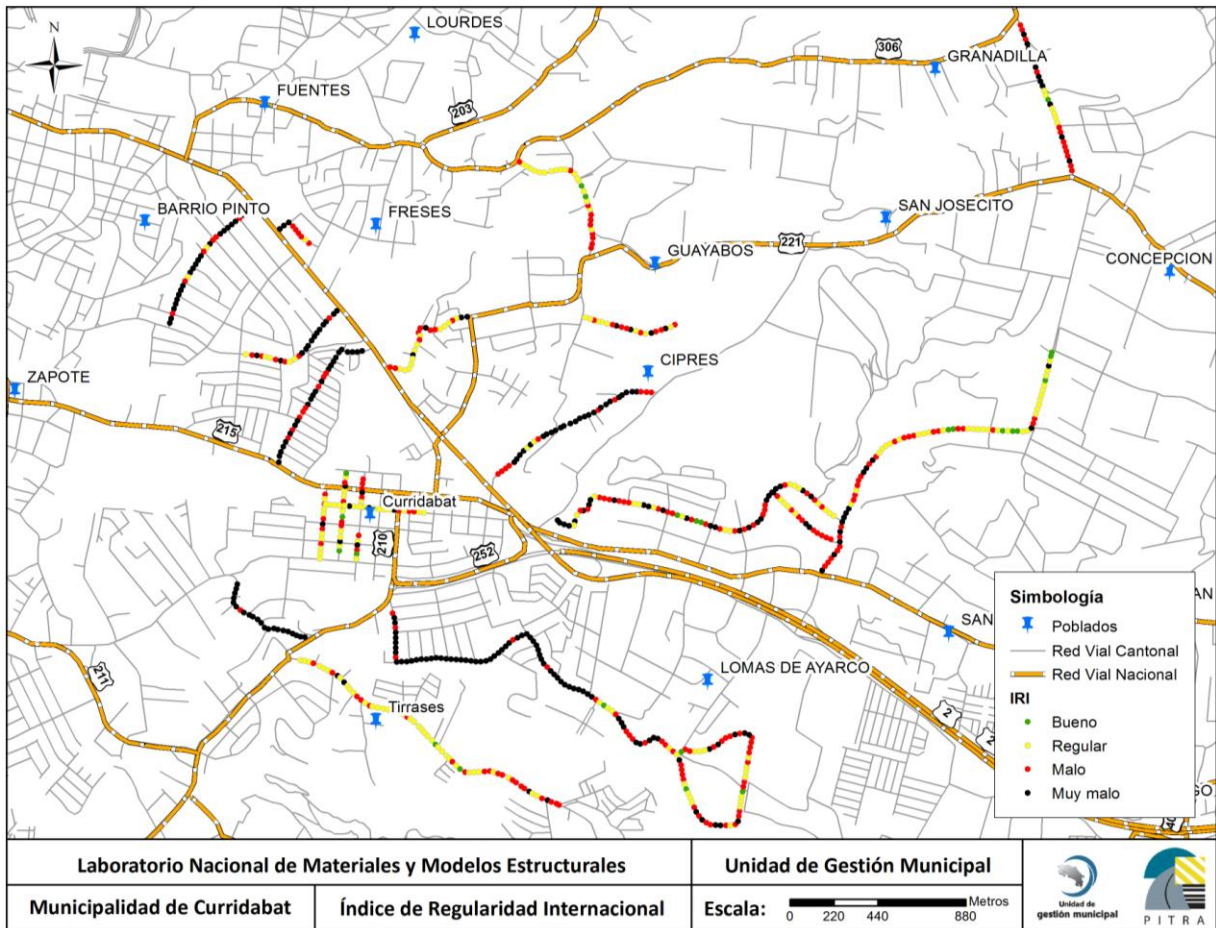


Figura 11. Condición del IRI para las mediciones realizadas en Curridabat.

En la Figura 12 se presenta la distribución porcentual de cada una de las mediciones de IRI en las cuatro categorías definidas. Se determinó que un 29% de las estimaciones de IRI se encuentran en la categoría "Regular", además, un 31% y 37% se pueden clasificar en las categorías de "Malo" y "Muy Malo" respectivamente, es decir que un 68% de la evaluación presenta valores mayores a 6,4 m/km lo cual caracteriza a una superficie de ruedo con bajo nivel de confort y altos gastos de operación para los vehículos que la transitan. Únicamente un 4% de las mediciones presenta una "Buena" condición funcional.

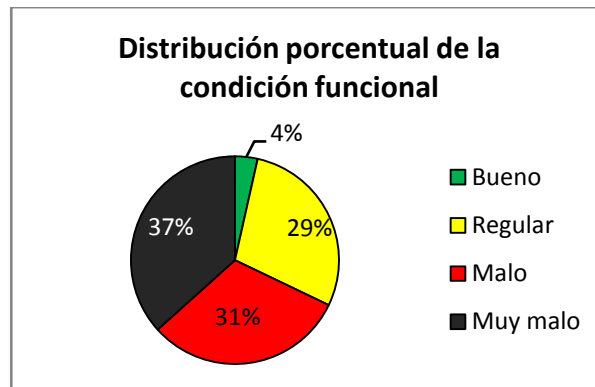


Figura 12. Distribución porcentual de la condición según el IRI.

### 3.2.3 Identificar condición estructural

Conocer la capacidad estructural de un pavimento permite determinar la respuesta que éste tendrá ante las cargas de tránsito a las que se encuentra expuesto, y es posible determinarla mediante la utilización de equipos como el Deflectómetro de Impacto (*Falling Weight Deflectometer [FWD]*, por sus siglas en inglés).

El procedimiento para la aplicación de este equipo consiste en dejar caer una carga de impacto estándar sobre el pavimento y medir las deflexiones en nueve puntos a diferentes distancias respecto al punto exacto donde se aplicó la carga. A continuación, en la Figura 13 se muestra el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.

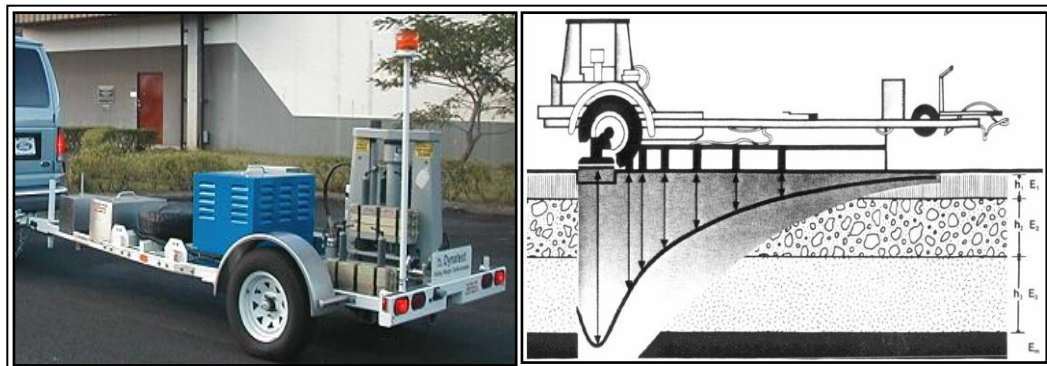


Figura 13. Equipo de deflectometría de impacto.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 14, la clasificación de los valores obtenidos en el ensayo de deflectometría en una estructura con base granular es tomada a partir de un estudio denominado Proyecto LM-PI-GM-03-2014 (LanammeUCR, 2014), en el cual se determinaron rangos según parámetros observados en diferentes zonas de la RVC.

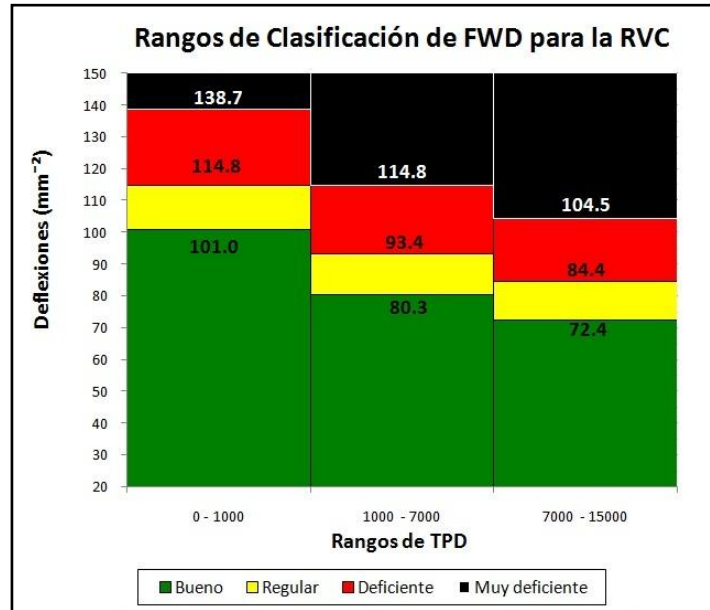


Figura 14. Condición del pavimento para una estructura con base granular en la RVC.

Fuente: LanammeUCR, 2014.

Las mediciones para la red vial de Curridabat se realizaron con el equipo Deflectómetro de Impacto a cada 50 metros a lo largo de 14,8 km de la red considerada en el convenio, durante el mes abril del 2015. A continuación, en la Figura 15, se muestra gráficamente la evaluación realizada, en donde es de apreciar que existe una gran cantidad de mediciones en la categoría de "Bueno" y "Muy deficiente" en los diferentes caminos evaluados.

En el gráfico de la Figura 16 se muestra que un 46% de todas las mediciones realizadas presentan una buena condición estructural, es decir, soportan adecuadamente las cargas que le aportan los vehículos. Sin embargo, un 40% de las mediciones del pavimento presentan un desempeño "Deficiente" o "Muy deficiente", por lo que podrían requerir acciones de refuerzo o reconstrucción para que puedan trabajar de manera óptima.

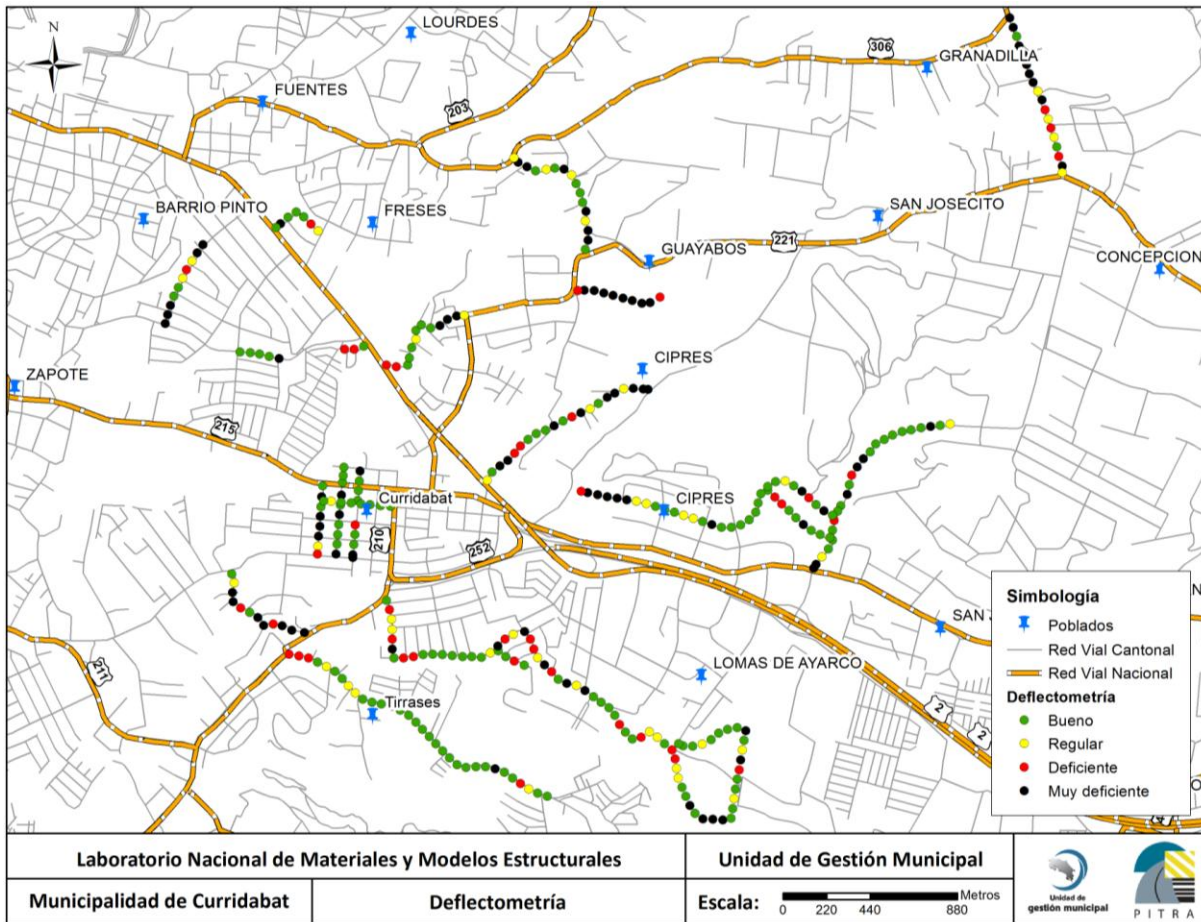


Figura 15. Condición del FWD para las mediciones realizadas en Curridabat.

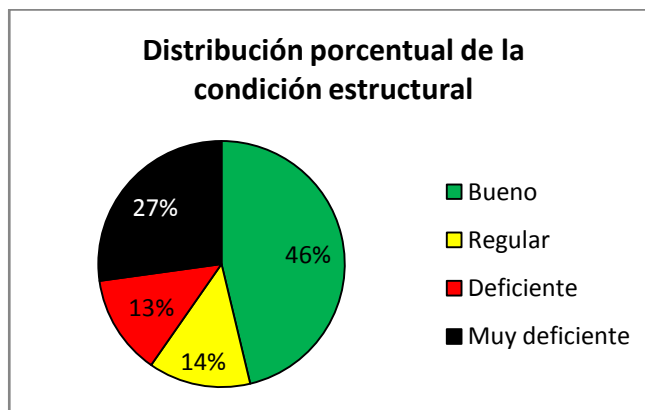


Figura 16. Distribución porcentual de la condición estructural del pavimento según resultados de FWD.



### 3.2.4 Análisis por rutas

Las evaluaciones funcionales y estructurales que se realizan son analizadas de manera integral con el propósito de determinar la condición general de la estructura de pavimento. Por ejemplo, una metodología comúnmente utilizada consiste en la generación de tramos que son estimados a través de métodos estadísticos definidos en la Guía de Diseño de Pavimentos de la AASHTO de 1993; sin embargo, en el caso de estudio que se atiende en este informe, este procedimiento podría alterar la organización que poseen los caminos municipales.

Por lo tanto, para el análisis de las rutas en Curridabat se agruparon tramos con características similares en dirección este-oeste y norte-sur, procurando tramos de la mayor longitud posible. De tal manera, a partir de aproximadamente 14,8 km evaluados en la red vial de Curridabat, se obtuvo un total de 33 tramos que se presentan de forma gráfica en la Figura 17.

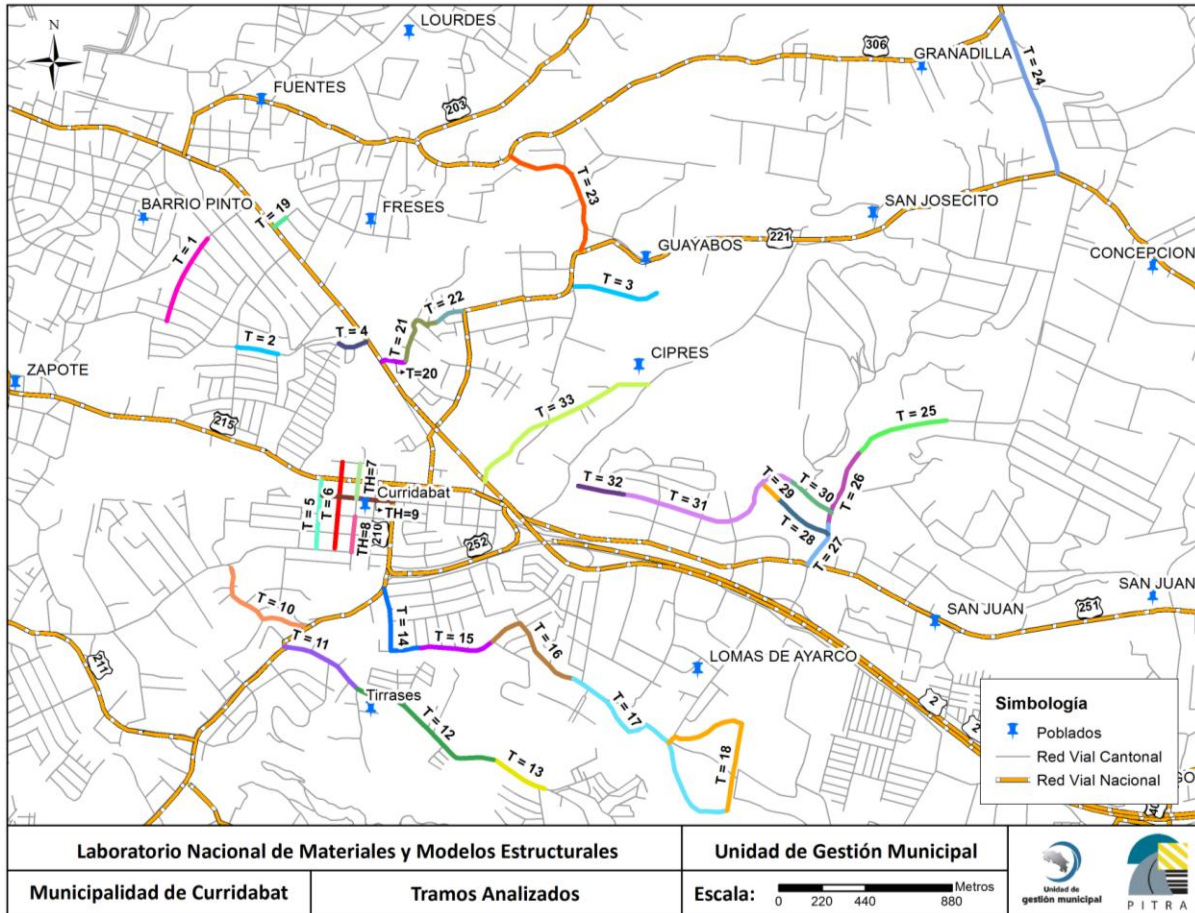


Figura 17. Ubicación de diferentes secciones de análisis.

Los valores promedio asociados a cada sección ofrecen una idea de la condición general del mismo para el año 2015, pues a cada tramo se le asocia cierta dispersión en los resultados de la evaluación del IRI y la deflectometría, producto de la variabilidad ocurrida con el paso del tiempo.

Asimismo, durante la visita de campo realizada a finales del año 2016, se identificó que algunos tramos habían sido total o parcialmente recarpeteados (entre ellos los tramos identificados en la Figura 17 como 17, 19, 24, 27, 30, 31, 32 y 33), razón por la cual se sugiere verificar si los trabajos realizados recientemente por el municipio son acordes con las intervenciones planteadas más adelante en este informe, las cuales se encuentran

justificadas según los resultados obtenidos a partir de equipos como el deflectómetro de impacto y el perfilómetro inercial láser.

### 3.2.4.1 Deflexión Promedio

La categorización del estado estructural de cada tramo se realiza con base en la clasificación que se presentó en la sección 3.2.3, donde se consideran diferentes intervalos para clasificar la deflectometría según el TPD de las vías y el tipo de estructura, en este caso pavimento con base granular.

En la Figura 18, se muestra de manera gráfica el rango asociado al valor de la deflectometría promedio (FWD promedio) para cada uno de los tramos analizados según las evaluaciones del año 2015.

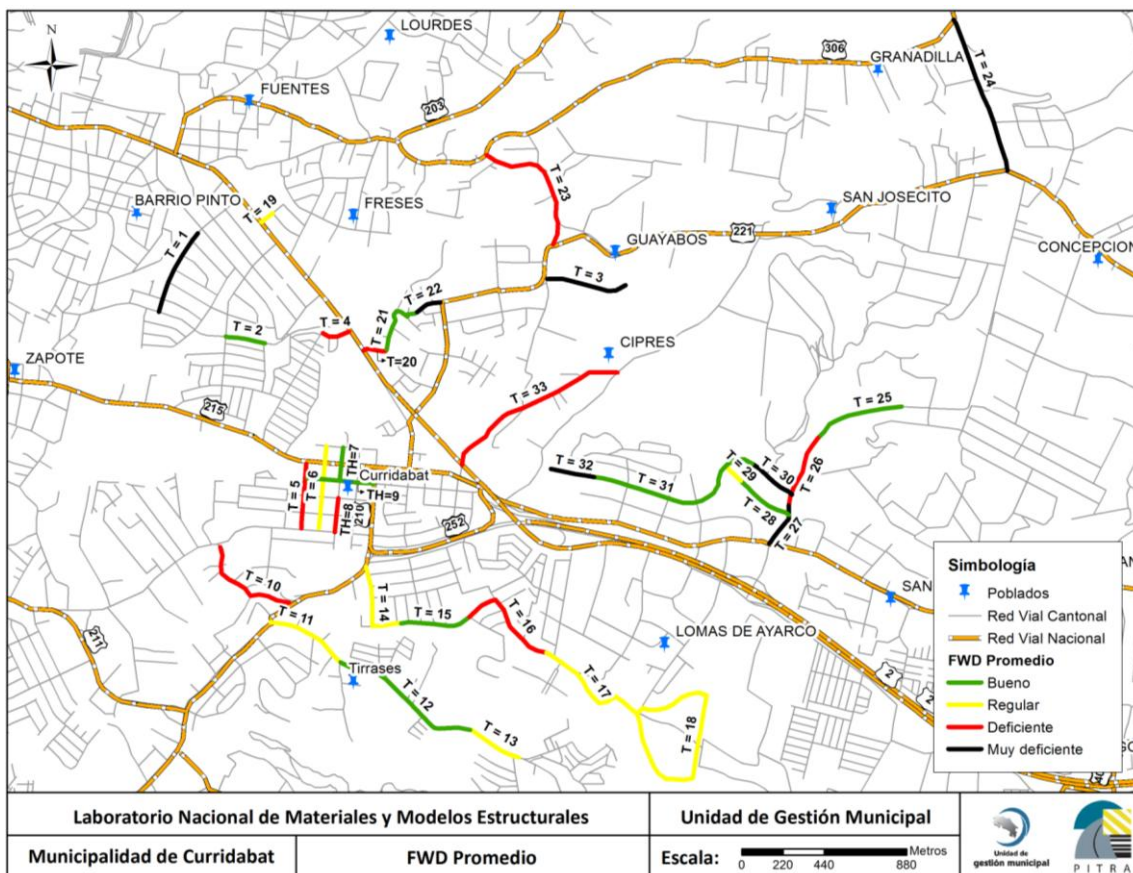


Figura 18. Deflectometría promedio de las vías analizadas.



Para cada categoría de condición estructural se realiza un análisis en el que se determina la cantidad de metros lineales y la cantidad de tramos asociados, el cual se sintetiza en la Figura 19 y Figura 20.

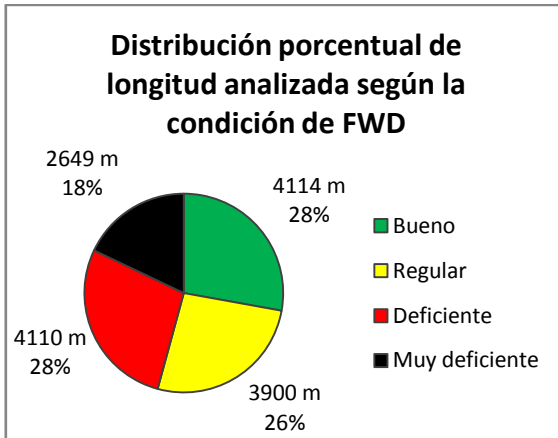


Figura 19. Porcentaje de metros lineales clasificados según FWD promedio.

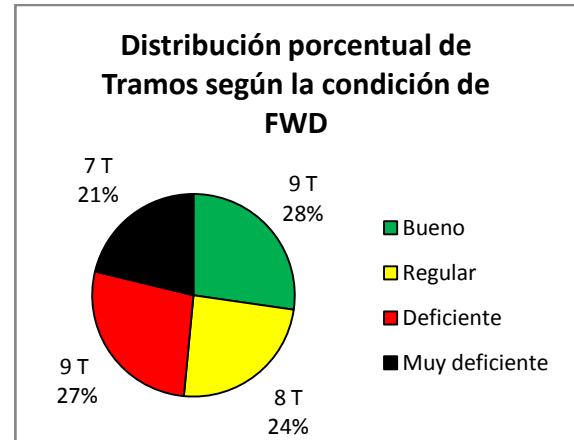


Figura 20. Porcentaje de tramos clasificados según FWD promedio.

En la Figura 19 y Figura 20, es posible observar que un 28% de la longitud evaluada (aproximadamente 4,1 km distribuidos en 9 tramos) presenta una adecuada condición estructural; mientras que un 46% de la longitud de los tramos evaluados (6,8 km) posee una estructura del pavimento con un nivel de deterioro importante (pertenecientes a las categorías "deficiente" y "muy deficiente") y por consiguiente una baja capacidad para soportar las cargas de tránsito a las que se ve sometida. Adicionalmente, cabe mencionar que aproximadamente 3,9 km distribuidos en 8 tramos o secciones de camino, se encuentran en la categoría "Regular".

### 3.2.4.2 IRI promedio

Se realizó una caracterización del IRI en la longitud de 14,8 km a partir de las evaluaciones puntales realizadas cada 25 metros, de tal manera que se obtuvo un valor promedio para cada tramo que permitió clasificarlos según los rangos mostrados inicialmente en la Tabla 1.

El análisis por IRI promedio indica que las rutas en este estudio presentan un alto deterioro de la condición superficial. En la Figura 21, es posible visualizar la condición del IRI promedio para los diferentes tramos.

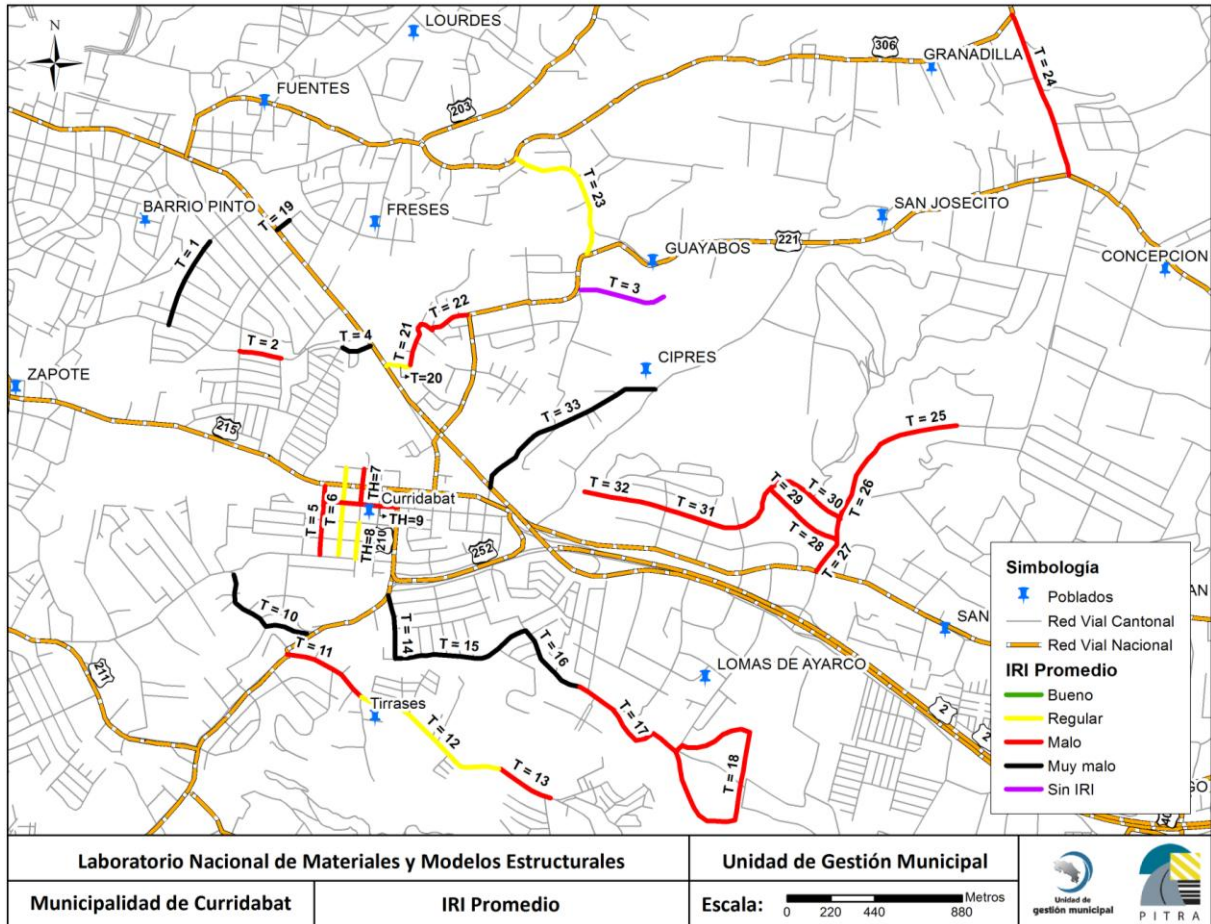


Figura 21. IRI promedio para las vías analizadas.

La distribución de la cantidad de tramos y de los metros lineales asociados a cada categoría de IRI de acuerdo con las mediciones del año 2015, se muestra porcentualmente en la Figura 22 y Figura 23.

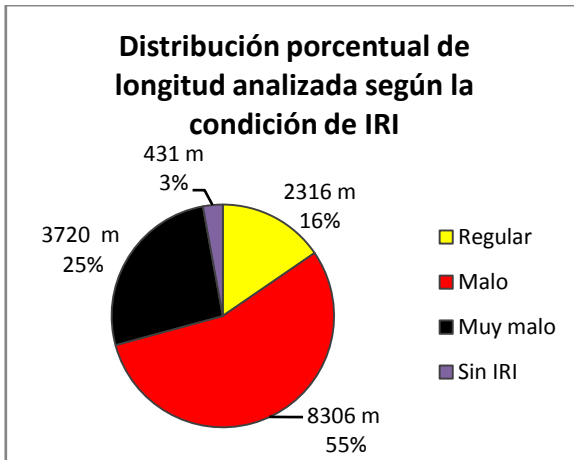


Figura 22. Porcentaje de metros lineales clasificados según el IRI promedio.

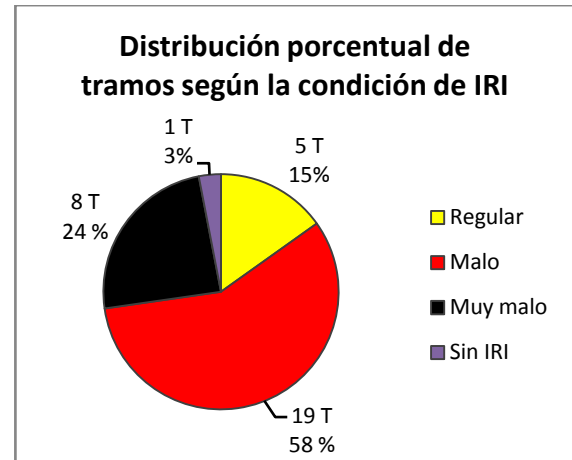


Figura 23. Porcentaje de tramos clasificados según el IRI promedio.

Según la información que se muestra en la Figura 22 y Figura 23, no se registraron tramos con una buena condición funcional, cerca de 12 km (81% de la longitud analizada) se encuentran en una condición "mala" y "muy mala" distribuidos en 27 secciones de camino. Además, 2,3 km se encuentran en una condición regular y en 431 m no se realizaron estimaciones del IRI pero sí mediciones de FWD.

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. Asimismo, se provoca un deterioro acelerado de la estructura de pavimento debido a las cargas dinámicas que debe soportar como producto del golpeteo de los vehículos al transitar por esta ruta irregular.

### 3.2.5 Notas de Calidad

El estado de cada uno de los tramos es analizado funcional y estructuralmente, y a través de la integración de estos dos parámetros se puede determinar la condición en el que se encuentra un tramo en el momento de su evaluación; el indicador que se utiliza se denomina Nota de Calidad, y define la estrategia de intervención más adecuada a nivel de gestión para cada tramo.



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

La metodología utilizada para la evaluación de la red vial municipal es una adaptación de la metodología empleada en el análisis de la red vial nacional en los años 2010-2011, la cual se presenta en el informe LM-PI-UE-05-11, emitido por el LanammeUCR.

Para simplificar el procedimiento se utiliza una matriz general (ver Tabla 2), en donde se establecen notas de calidad en función de los resultados de la condición de IRI y deflectometría medidos al momento de la evaluación.

Tabla 2. Notas de calidad de acuerdo con los resultados de la condición de IRI y FWD.

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

Fuente: LanammeUCR, 2012.

El uso de colores en la Tabla 2 refleja de manera general, el tipo de intervención (a nivel de gestión) que requiere cada una de las categorías. Los colores verdes representan actividades relacionadas con el mantenimiento, el amarillo se refiere a tramos que requieren recuperación de la capacidad funcional, el azul requiere un proceso de análisis a nivel de proyecto ya que se encuentra en una condición intermedia, los colores rosados representan tramos que requieren rehabilitación menor, los colores naranjas y rojos representan una rehabilitación mayor y los negros requieren reconstrucción, en la siguiente sección se amplía la descripción de los diferentes tipos de intervenciones.



### 3.2.5.1 Definición de las notas de calidad

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



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

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



pérdida de capacidad funcional y estructural en el corto plazo para evitar o retardar un mayor deterioro.

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

### 3.2.5.2 Notas de calidad de la red vial analizada

Las notas de calidad se asignaron según el procedimiento descrito en la sección 3.2.5 utilizando la Tabla 2, donde los parámetros empleados para la asignación de cada nota de calidad son el IRI promedio y la deflectometría promedio caracterizada según el tipo de base asociada y flujo vehicular característico. En la Tabla 3, se puede observar el detalle de los valores promedio de IRI y deflectometría para cada tramo analizado, correspondientes a las condiciones de la infraestructura para el año 2015, además, se indica la nota de calidad asociada a los valores obtenidos.

Informe LM-PI-GM-INF-04-17	Fecha de emisión: Mayo, 2017	Página 35 de 49
----------------------------	------------------------------	-----------------



Tabla 3. Nota de calidad asignada a cada tramo analizado en la localidad de Curridabat.

Tramo	Longitud (m)	FWD Promedio	IRI Promedio	Notas Q
1	473,6	117,2	11,5	NP
2	213,7	17,7	8,3	Q4
3	430,6	172,7	Sin IRI	Sin Nota Q
4	150,7	94,7	12,8	R-3
5	346,1	99,4	6,8	Q9
6	439,8	83,0	6,3	Q5
7	179,6	77,3	8,7	Q4
8	183,5	94,0	6,2	Q8
9	358,8	48,7	6,7	Q4
10	554,2	109,0	14,6	R-3
11	448,6	74,4	6,9	Q7
12	819,5	44,4	5,2	Q2
13	302,3	77,9	8,1	Q7
14	476,9	88,7	11,8	RH-RF
15	381,4	69,6	13,6	M-RF
16	580,7	106,0	12,2	R-3
17	1177,9	86,4	9,0	Q7
18	863,8	104,1	8,0	Q7
19	79,2	86,6	10,5	RH-RF
20	129,6	107,1	6,0	Q8
21	351,7	52,8	7,5	Q4
22	138,4	123,5	9,8	R-3
23	743,6	80,0	5,6	Q8
24	859,3	125,4	9,6	R-3
25	496,3	73,9	6,5	Q4
26	398,1	104,5	9,6	Q9
27	239,5	116,2	10,0	R-3
28	318,7	68,2	8,9	Q4
29	111,7	111,7	8,4	Q7
30	272,3	133,6	8,0	R-3
31	994,2	70,1	8,4	Q4
32	235,4	127,2	8,8	R-3
33	1023,7	111,9	10,4	R-3

En la figura 24 puede observar cada sección de análisis clasificada según la metodología de notas de calidad.



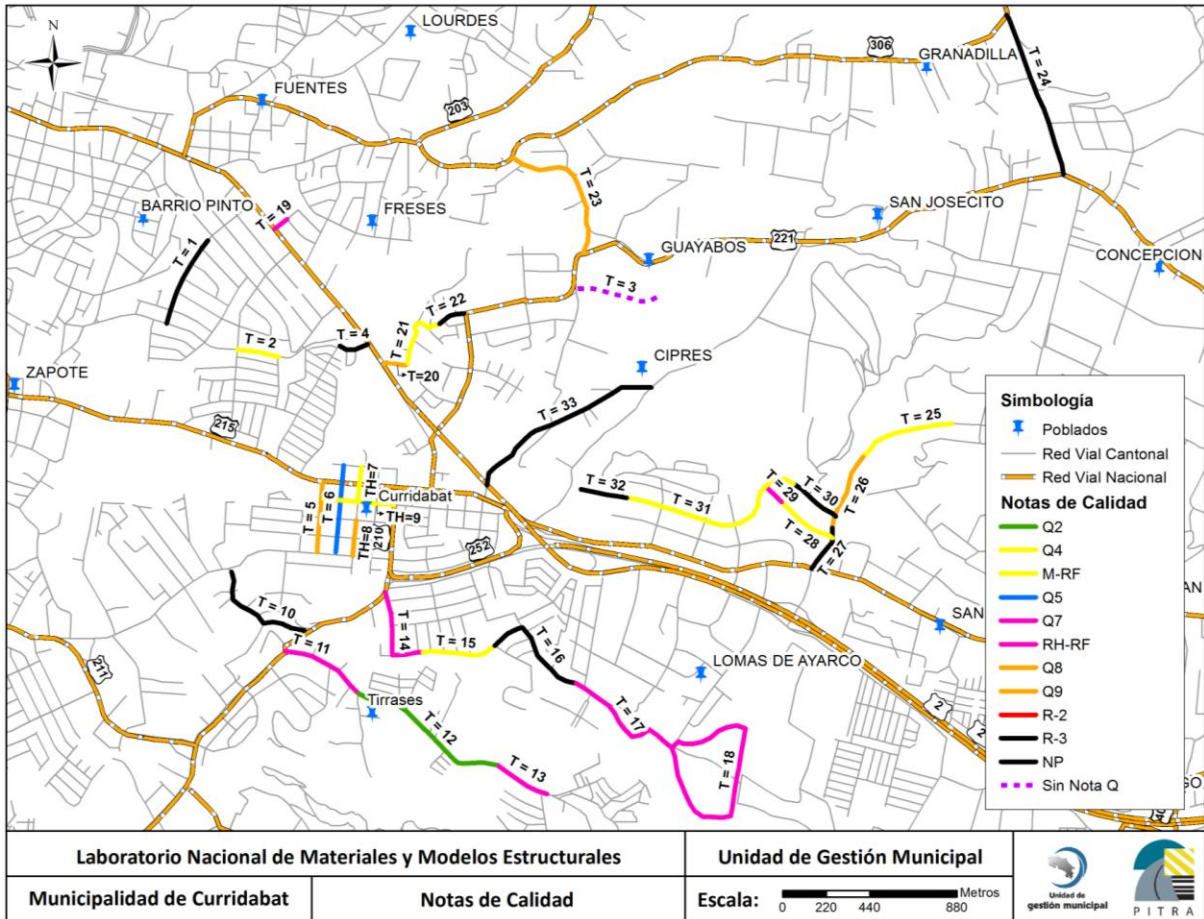


Figura 24. Notas de Calidad para los tramos analizados.

En la Figura 25 se puede observar la distribución porcentual de las diferentes notas de calidad de los tramos, en las cuales la nota de calidad R-3 concentra la mayor cantidad de secciones (9 tramos) equivalentes a 4 km aproximadamente, seguido por las notas Q4 (7 tramos) y Q7 (5 tramos), las cuales corresponden a una longitud cercana a los 2,9 km cada una.

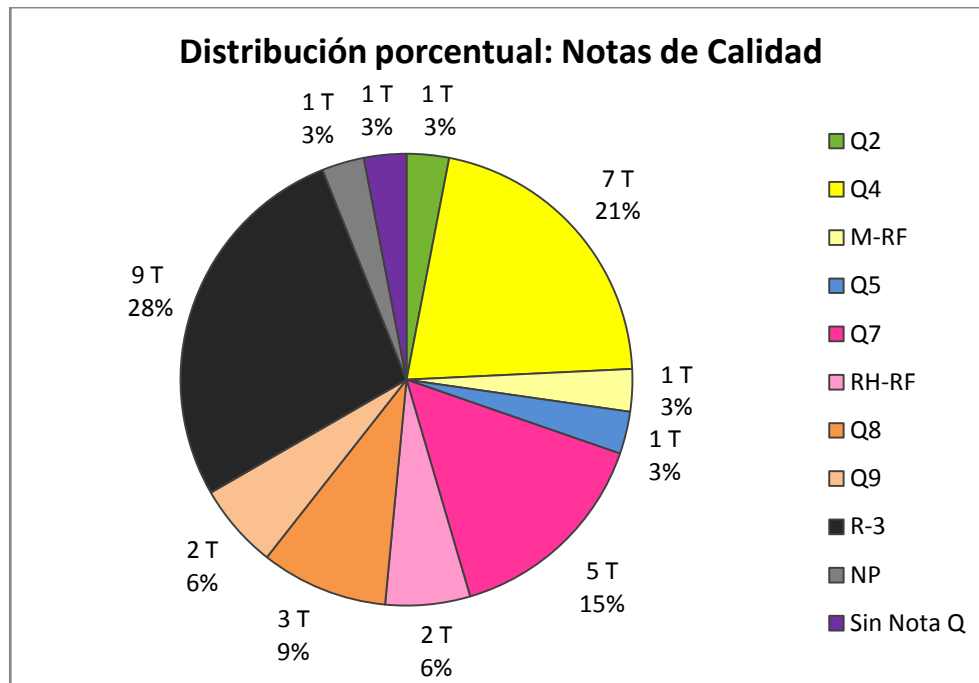


Figura 25. Distribución porcentual de las notas de calidad asignadas a cada sección analizada.

### 3.3 Tipos de intervención

La nota de calidad asignada a cada tramo es producto de la caracterización de la capacidad estructural y funcional de la red en estudio. Las intervenciones recomendadas son generales y se enfocan en el análisis a nivel de red, por lo que son una herramienta útil para la gestión y la definición de estrategias de intervención en un determinado periodo de tiempo (plan de inversiones), con el objetivo fundamental de mejorar el estado de la red vial de manera paulatina y sostenida.

Es necesario que las estrategias 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.

En la Figura 26, se muestra de manera sencilla el asocio entre cada nota de calidad y el tipo de intervención que se recomienda a nivel de red. Es importante 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.

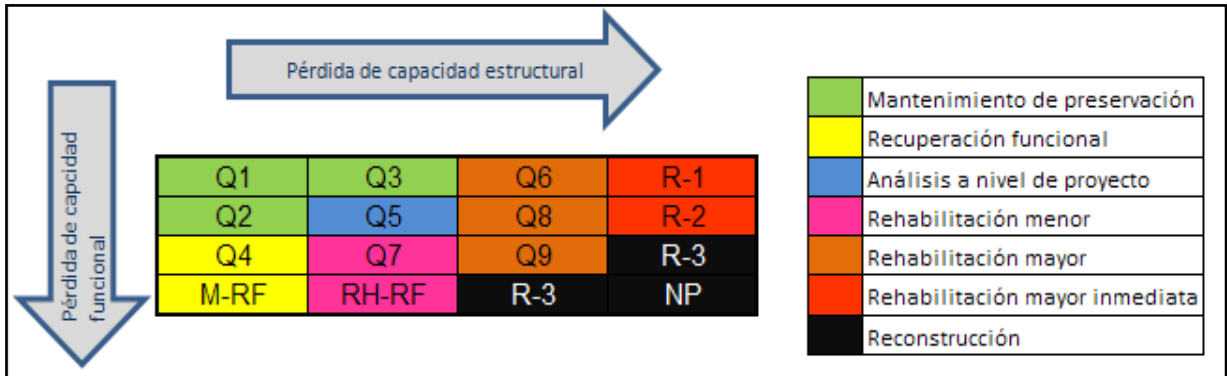


Figura 26. Tipo de intervención recomendada para cada nota de calidad.

Fuente: LanammeUCR, 2012.

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 LanammeUCR 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 prolongar la vida útil del pavimento y corregir deterioros funcionales de leve intensidad.
- **Mantenimiento de recuperación funcional (IRI):** Su objetivo es mejorar la condición funcional del tramo, por lo que no necesariamente aportan 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 tabla 4 puede observar el tipo de intervención (a nivel de red) propuesto para cada tramo analizado en la localidad de Curridabat, con base en las mediciones y evaluaciones realizadas en el año 2015 por el personal del LanammeUCR y la UTGV de Curridabat.



Tabla 4. Tipo de intervención requerida a nivel de red para cada tramo evaluado en la red vial cantonal de Curridabat.

Tramo	Notas Q	Tipo de Intervención
1	NP	Reconstrucción
2	Q4	Recuperación funcional
3	Sin Nota Q	Sin tipo Intervención
4	R-3	Reconstrucción
5	Q9	Rehabilitación mayor
6	Q5	Análisis a nivel de proyecto
7	Q4	Recuperación funcional
8	Q8	Rehabilitación mayor
9	Q4	Recuperación funcional
10	R-3	Reconstrucción
11	Q7	Rehabilitación menor
12	Q2	Mantenimiento de preservación
13	Q7	Rehabilitación menor
14	RH-RF	Rehabilitación menor
15	M-RF	Recuperación funcional
16	R-3	Reconstrucción
17	Q7	Rehabilitación menor
18	Q7	Rehabilitación menor
19	RH-RF	Recuperación menor
20	Q8	Rehabilitación mayor
21	Q4	Recuperación funcional
22	R-3	Reconstrucción
23	Q8	Rehabilitación mayor
24	R-3	Reconstrucción
25	Q4	Recuperación funcional
26	Q9	Rehabilitación mayor
27	R-3	Reconstrucción
28	Q4	Recuperación funcional
29	Q7	Rehabilitación menor
30	R-3	Reconstrucción
31	Q4	Recuperación funcional
32	R-3	Reconstrucción
33	R-3	Reconstrucción



Es importante hacer énfasis en que estos resultados son basados en los datos del momento de la evaluación (año 2015), por lo tanto para planificar las diferentes intervenciones es importante contrastar esos resultados con lo observado en sitio al momento de la ejecución de los trabajos.

En la Figura 27 y Figura 28 se puede observar la distribución porcentual de los tipos de intervención requeridos según la cantidad de kilómetros analizados (14,8 km); es de apreciar que un 6% (819 m) de la longitud evaluada posee una buena condición estructural y funcional, por lo que únicamente requieren de un mantenimiento de preservación si se desea mantener el pavimento en buenas condiciones; un 3% necesita una valoración a nivel de proyecto para identificar cuál sería el mejor tipo de intervención que podría aplicársele, pues se encuentran en una condición intermedia.

Se determinó que un total de 7 tramos (3,3 km) requieren una recuperación de su capacidad funcional que permita mejorar la regularidad superficial del pavimento, ya que este se encuentra con una buena condición estructural, pero existen daños en la superficie de ruedo.

De los tramos evaluados 7 son candidatos para una rehabilitación menor (3,5 km); mientras que 5 tramos analizados (1,8 km) requieren una rehabilitación mayor, debido a que su capacidad estructural ha disminuido considerablemente.

Un 31% de la longitud evaluada en Curridabat (4,5 km) debe aplicársele una reconstrucción parcial o total del pavimento pues éste ha llegado al final de su vida útil y presenta daños severos.

Finalmente, se menciona que la sección del gráfico en color morado representa al tramo 3 del análisis, al cual no le fue posible determinar una nota de calidad ni tipo de intervención asociado en consecuencia de que no fue evaluado con el perfilómetro láser (es decir, no tiene IRI); sin embargo, su deflectometría fue clasificada como “Muy deficiente” con un valor promedio de  $172,5 \times 10^{-2}$  mm, lo cual indica que requiere de alguna intervención mayor que permita recuperar su capacidad estructural.

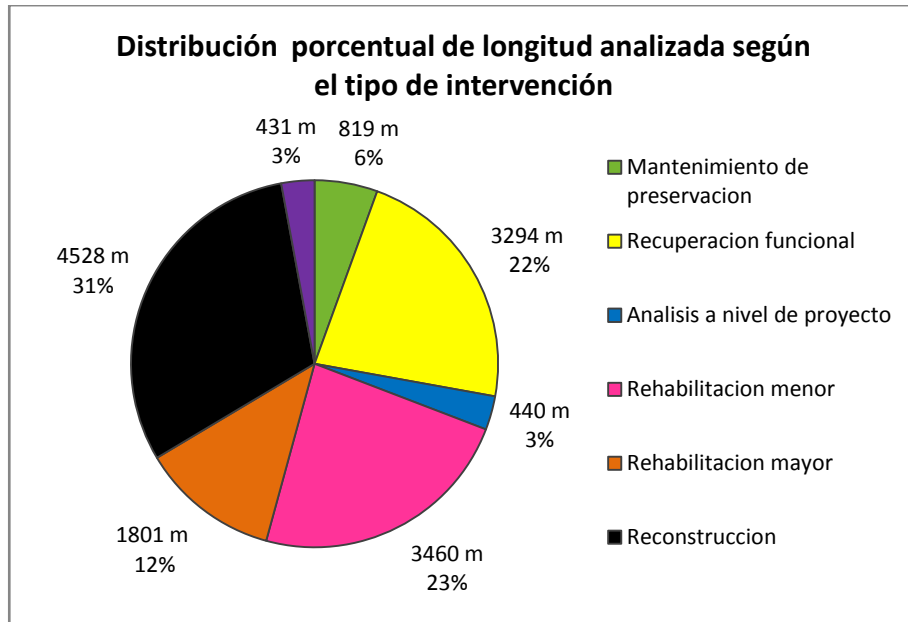


Figura 27. Tipos de intervención requeridos para la red vial cantonal de Curridabat, según longitud analizada.

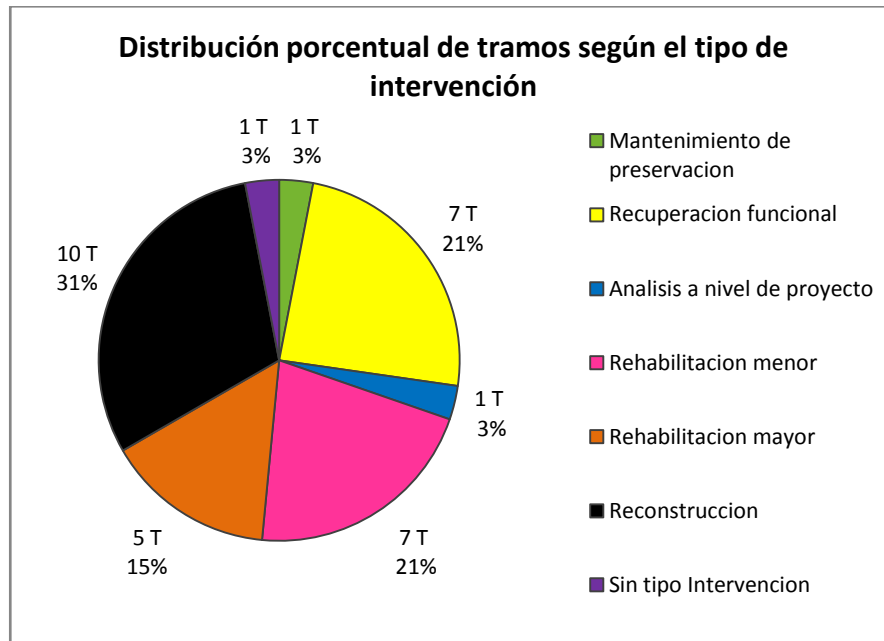


Figura 28. Tipos de intervención requeridos para la red vial cantonal de Curridabat, según cantidad de tramos.

En la figura 29, se observa de manera gráfica el tipo de intervención propuesta para cada una de las secciones, según el estado estructural y las mediciones del IRI realizadas en el año 2015.

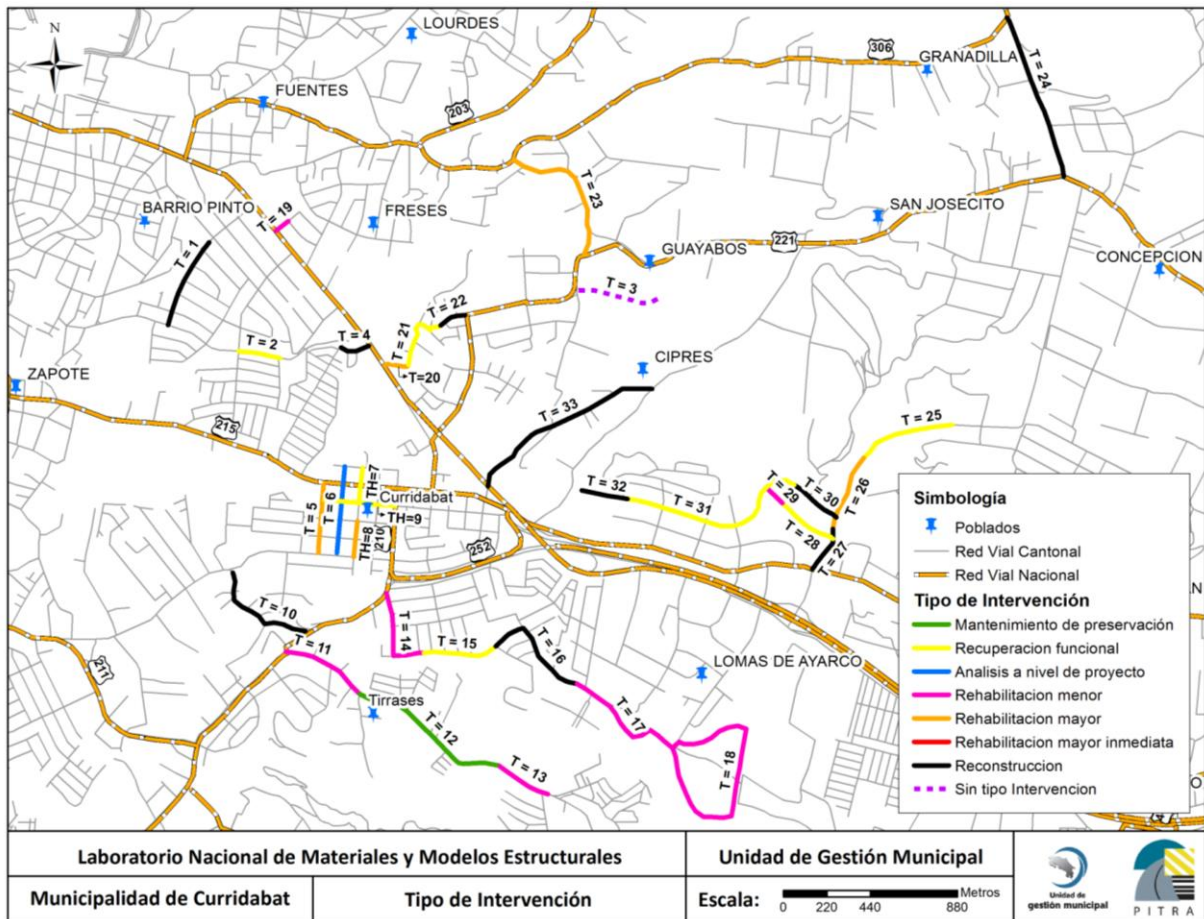


Figura 29. Tipo de intervención recomendada para cada tramo analizado.

### 3.4 Diseño y costos de los tratamientos

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

- Mantenimiento de preservación.
- Recuperación funcional
- Análisis a nivel de proyecto.





- Rehabilitación menor.
- Rehabilitación mayor.
- Reconstrucción.

Para diseñar las diferentes intervenciones es necesario realizar un retrocálculo 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 obtenidos a partir de los sondeos a cielo abierto. El objetivo de realizarlo es estimar el valor del módulo para cada una de las capas que componen la estructura, y utilizarlo como dato al diseñar las diferentes intervenciones que requieran los tramos, pues debe realizarse el diseño de distintas “estructuras tipo” de la red vial cantonal de Curridabat.

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

Asimismo, es importante recalcar que los costos serían generados para estructuras características de las rutas municipales de Curridabat en un análisis a nivel estratégico; por lo tanto, para presupuestar o definir con exactitud el costo específico para un proyecto, se debería realizar un análisis y diseño formal del tipo de intervención para cada proyecto, es decir, realizar un análisis a nivel de proyecto.

### **3.5 Escenarios de inversión**

Una vez que se cuente con la información actualizada de los costos según el tipo de intervención, es necesario que la municipalidad defina el presupuesto que se va a invertir en carreteras durante los próximos cinco años, así como las políticas que se pretenden aplicar



para priorizar las rutas o tramos que se pretenden intervenir, los cuales se incorporarán al plan quinquenal del gobierno local.

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

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Se realizaron mediciones del estado funcional (IRI) en aproximadamente 15,9 km, abarcando inclusive caminos con superficie de ruedo de concreto hidráulico, sin embargo, para el análisis del estado estructural (FWD) se evaluaron únicamente 14,8 km ya que esta metodología se aplica únicamente para el análisis de superficies en ruedo de mezcla asfáltica.

Se generaron 33 secciones de análisis para la localidad de Curridabat, los cuales tienen como objetivo definir unidades discretas para facilitar la gestión municipal en cuanto al mantenimiento y mejoramiento de la red.

De acuerdo con las pruebas y mediciones realizadas en la red vial cantonal de Curridabat durante el año 2015, un 28% de la longitud de tramos analizados, correspondiente a 4,1 km de los 14,8 km evaluados poseen una buena condición estructural, mientras que un 46% de la longitud de los tramos evaluados (6,8 km) posee deflexiones altas, lo que implica que la estructura del pavimento no posee la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas a la que se encuentra expuesta.

En cuanto al estado funcional de la red vial, se tiene que no hay secciones en buena condición funcional; 2,3 km (16% de longitud de tramos analizados) se encuentran en una

Informe LM-PI-GM-INF-04-17	Fecha de emisión: Mayo, 2017	Página 46 de 49
----------------------------	------------------------------	-----------------



condición regular con valores de IRI entre 3,6 y 6,4 m/km, y 12 km (81% de longitud evaluada) se encuentran en una condición de deterioro superficial avanzado, lo que implica mayores costos de operación (desgaste de llantas, combustible, etc.) para los usuarios y mayores tiempos de viaje; además, la irregularidad en los pavimentos provoca un desgaste acelerado en la estructura de pavimento al generarse un impacto dinámico de las llantas de los vehículos sobre la superficie asfáltica.

Entre los resultados más relevantes del análisis de la red vial cantonal de Curridabat, se obtiene que, para las condiciones del pavimento, 1,8 km (12 % de la red vial analizada) requieren una rehabilitación mayor, es decir algún tipo de refuerzo estructural, que proporcione el soporte requerido para resistir las cargas de tránsito con un nivel de servicio aceptable.

De las rutas evaluadas 4,5 km requieren algún tipo de reconstrucción, lo cual implica intervenir parte o todas las capas de la estructura. Además, 819 m evaluados poseen la condición funcional y estructural aptas para realizar labores de mantenimiento correctivo o preventivo; y 6,8 km requieren una recuperación de la condición funcional o rehabilitación menor. Finalmente, 440 m necesita una valoración a nivel de proyecto para determinar cuál sería el mejor tipo de intervención que podría aplicársele, ya que se encuentran en una condición intermedia.

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

Además, estas recomendaciones se proponen como soluciones óptimas generales a la condición de cada sección al realizar la evaluación, es decir, si un tramo 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, un plan quinquenal en donde se definan las secciones que se intervendrán cada año, el cual se base en el presupuesto disponible, los tipos de intervención necesarios y los costos de ejecución del municipio. Así mismo, se recomienda intervenir tramos que se encuentren dentro de la categoría de rehabilitación mayor, para evitar tener que hacer mayores intervenciones a un corto plazo, ya que tramos con esta condición se deterioran con rapidez, pasando a notas de calidad R-2 o R-3, donde lo que se requeriría es una reconstrucción y por lo tanto implicaría inversiones mayores, de igual forma deberían tener prioridad los tramos en la condición de preservación, para prolongar la vida útil de los mismos y maximizar la inversión realizada.

Es necesario que en 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 Vial 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

- Badilla V., G. “Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)” Infraestructura Vial, N°21 (Febrero 2009).
- Hass, R.; Hudson, W. R.; Zaniewski, J. (1993). Modern Pavement Management. R.E. Krieger Publishing Company, Florida.
- Informe LM-PI-PM-04-09, Informe de Avance: Desarrollo de un sistema para la conservación vial en la municipalidad de La Unión. Proyecto Municipal, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José, Costa Rica. Agosto, 2009.
- López Ramírez, Sharline. Sistema piloto de administración de pavimentos en la Municipalidad de Belén, Heredia. Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica – San José, Costa Rica. Febrero, 2009.
- Proyecto N° UI-PC-03-08, Variaciones a los Rangos para la Clasificación Estructural de la Red Vial Nacional de Costa Rica. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial (UIIVI), Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José Costa Rica. Agosto, 2008.
- Proyecto N° UI-PC-04-08, Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices de red vial nacional, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), UCR, San José Costa Rica. Noviembre, 2008.
- Solminihac H. (1998). Gestión de Infraestructura Vial; Editorial Universidad Católica de Chile, Chile.
- Arias-Barrantes, E., & Allen-Monge, J. (2014). Clasificación de los resultados obtenidos por el deflectómetro de impacto para la evaluación estructural de la red vial cantonal de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.