



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y
MODELOS ESTRUCTURALES

INFORME DE AVANCE
DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA CONSERVACIÓN VIAL
EN LA MUNICIPALIDAD DE LA UNIÓN

LM-PI-PM-08-09

Realizado por:

Proyecto Municipal
Unidad de Gestión de Infraestructura
Programa de Infraestructura del Transporte

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) 2511-4971
Fax: (506) 2511-4442

San José, Costa Rica
NOVIEMBRE 2009

ÍNDICE

1. Antecedentes	5
1.1. Asesoría Técnica	5
1.2. Capacitación	5
1.3. Venta de Servicios	5
1.4. Recursos Financieros	6
1.5 Ley 8114: Reglamento sobre el Manejo, Normalización y Responsabilidad para la Inversión Pública en la Red Vial Cantonal	6
2. Proceso de Gestión de Infraestructura Vial	6
3. Diagnóstico de la Red Vial Cantonal de la Municipalidad de La Unión	8
3.1. Objetivo	8
3.2. Actividades	8
3.2.1. Clasificación de la RVC	8
3.2.2. Determinar (TPD) y clasificación vehicular	9
3.2.3. Identificar Condición Funcional	11
3.2.3.1. Deterioro Superficial	11
3.2.3.2. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	17
3.2.3.3. Drenajes	19
3.2.4. Identificar condición estructural	20
3.2.5. Caracterización de la estructura del pavimento	22
3.2.5.1. Estructura del pavimento	23
3.2.5.2. Caracterización de la sub-rasante del pavimento	26
3.2.5.3. Clasificación de sub-rasante según CBR	29
3.2.6. Definir tramos homogéneos	29
4. Bibliografía	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de proceso de gestión vial (Fuente: LanammeUCR, 2008).	7
Figura 2. Clasificación de la RVC del cantón de La Unión (Fuente: LanammeUCR, 2009).	9
Figura 3. Cables y contadores automáticos en sitio. (Fuente: LanammeUCR, 2008).	10
Figura 4. Configuración de los contadores. (Fuente: LanammeUCR, 2008). ...	11
Figura 5. Esquema de inspección visual en metodología VIZIR (Fuente: LanammeUCR, 2008).	12
Figura 6. Niveles de gravedad de deterioros Tipo B (Fuente: Guía Metodológica para el diseño de obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras).	13
Figura 7. Ejemplos de daños superficiales con metodología VIZIR (Fuente: VIZIR, técnicas y métodos).	14
Figura 8. Obtención del Índice de Daño con metodología VIZIR (Fuente: VIZIR, técnicas y métodos).	15
Figura 9. Índice de Daño de la RVC de La Unión (Fuente: LanammeUCR, 2009).	16
Figura 10. Índice de Daño de la RVC de La Unión, sector Norte (Fuente: LanammeUCR, 2009).	16
Figura 11. Índice de Daño de la RVC de La Unión, sector Sur Oeste (Fuente: LanammeUCR, 2009).	17
Figura 12. Representación física del Índice de Rugosidad Superficial (Fuente: LanammeUCR, 2008).	18
Figura 13. Perfilómetro Inercial Láser (Fuente: LanammeUCR, 2008).	18
Figura 14. Tramos de evaluación de IRI en el cantón de La Unión, 2009 (Fuente:.....)	19
LanammeUCR, 2009).	19
Figura 15. Equipo de deflectometría de impacto (Fuente: LanammeUCR, 2008).	20
Figura 16. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una base granular. (Fuente: LanammeUCR, 2008).	21
Figura 17. Puntos de evaluación de la RVC del cantón de La Unión a partir de deflectometría (2009) (Fuente: LanammeUCR, 2009).	22
Figura 18. Ejemplo de estructura de pavimento.	22
Figura 19. Ubicación e identificación de los sitios de sondeo realizados. (2009) (Fuente: LanammeUCR, 2009).	25
Figura 20. Tipo de suelo para la sub-rasante en el cantón de La Unión (Fuente: LanammeUCR, 2009).	27
Figura 21. Prueba de CBR en sitio (Fuente: LanammeUCR, 2008).	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación según el valor del Índice de Rugosidad Internacional ...	19
Tabla 2. Espesores de las capas del pavimento según los sondeos realizados	24
Tabla 3. Clasificación del tipo de suelo de la sub-rasante obtenido a partir de las muestras tomadas.	28

Diagnóstico de la Red Vial Cantonal de la Municipalidad de La Unión

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

La Municipalidad de La Unión 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 La Unión y la Universidad de Costa Rica convienen en suscribir una Carta de Entendimiento, que presenta las siguientes actividades principales:

1.1. Asesoría Técnica

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

1. Evaluar la operación y uso de la red vial cantonal de La Unión.
2. Evaluar la condición superficial y estructural de los pavimentos existentes.
3. Desarrollar e implementar una metodología para clasificar y priorizar la RVC.
4. Definir Políticas y Normas de Ejecución para conservar la RVC.
5. Definir y diseñar las intervenciones técnicas de los proyectos a ejecutar.
6. Elaborar un Plan de Inversiones para implementar el Plan de Conservación.
7. Definir Indicadores de Evaluación del Cumplimiento del Plan de Conservación.

1.2. Capacitación

LanammeUCR brindará capacitación a los funcionarios municipales y líderes comunales involucrados en el desarrollo e implementación del Plan Quinquenal de Conservación de la Red Vial Cantonal.

1.3. Venta de Servicios

LanammeUCR realizará sondeos a cielo abierto, recolección de muestras y ensayos de laboratorio, para conocer y evaluar las estructuras de pavimento que conforman la Red Vial Cantonal.

1.4. Recursos Financieros

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

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

1.5 Ley 8114: Reglamento sobre el Manejo, Normalización y Responsabilidad para la Inversión Pública en la Red Vial Cantonal

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

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

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

2. Proceso de Gestión de Infraestructura Vial

El organismo encargado de la infraestructura, específicamente de los pavimentos, debe ser capaz de establecer y aplicar sistemas de gestión, de manera que se facilite el establecimiento de los proyectos individuales que se pretenden ejecutar, para que se de una mejora de la red en la que se encuentran inmersos.

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 conseguir un adecuado sistema de gestión es útil conocer algunos de sus requerimientos esenciales:

- Capacidad de ser fácilmente utilizado, posibilitando agregar y actualizar datos, así como modificarlo con nueva información sin mayor complicación.
- 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 usar información de retroalimentación para conocer las consecuencias de las decisiones.

Los pavimentos son estructuras complejas que se ven afectadas por diferentes variables: combinaciones de cargas que soportan, solicitudes de medio ambiente, propiedades de los materiales y formas de construcción, mantenimiento, etc. Es importante entender claramente los factores técnicos y económicos que involucran su construcción, explotación y mantenimiento para poder hacer una apropiada gestión de pavimentos.

El comienzo de una gestión integral de los elementos de la infraestructura vial puede iniciar con uno de sus elementos más importante, el pavimento, pero en forma progresiva deben ir agregándose las herramientas que permitan gestionar la conservación de todos los demás elementos (Ej. alcantarillado, puentes, señalización, etc.) que proveen al usuario de una operación segura y de bajo costo (De Solminihac, 1998).

Para establecer un sistema de gestión vial es necesario delimitar todas sus fases y destacar los productos asociados a cada proceso. El siguiente esquema demuestra el flujo grama para el proceso de gestión vial en el ámbito municipal, aplicado específicamente a la Municipalidad de La Unión.

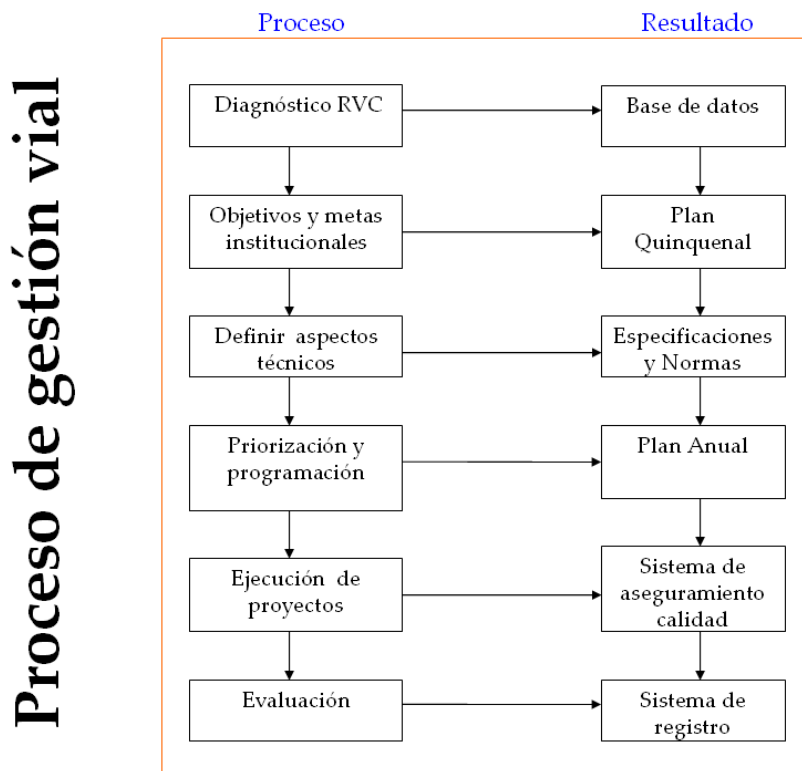


Figura 1. Esquema de proceso de gestión vial (Fuente: LanammeUCR, 2008).

En el caso de La Unión, hasta la fecha se ha trabajado principalmente en el diagnóstico de la Red Vial Cantonal (RVC), el producto principal fue la creación de la base de datos. A partir del diagnóstico se puede proceder a definir los objetivos y metas institucionales, y con esto definir el plan quinquenal. A continuación se presenta el detalle del diagnóstico de la RVC de la Municipalidad de La Unión.

3. Diagnóstico de la Red Vial Cantonal de la Municipalidad de La Unión

3.1. Objetivo

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

3.2. Actividades

Las actividades para realizar el diagnóstico de la RVC se compone de diferentes actividades con productos asociados, a continuación se presentan las actividades para realizar el diagnóstico.

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

3.2.1. Clasificación de la RVC

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

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

La clasificación se determina con la experiencia de la Unidad Técnica de Gestión Vial (UTGV) de la Municipalidad de La Unión. También se realiza un recorrido preliminar por la RVC, para determinar puntos estratégicos de mayores volúmenes y observar un panorama general de la movilidad en la RVC. Se adjunta un mapa con la clasificación de la RVC de la Municipalidad de La Unión.

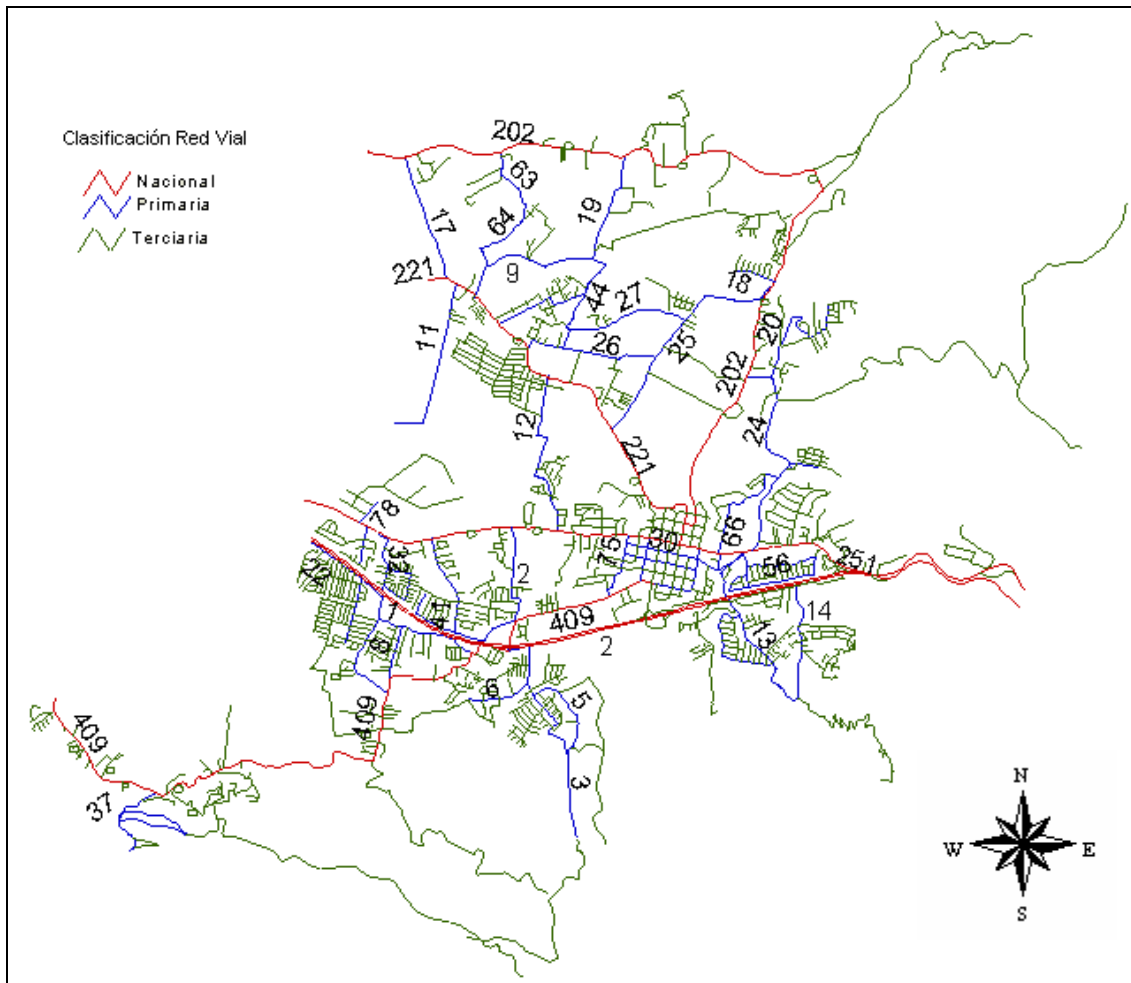


Figura 2. Clasificación de la RVC del cantón de La Unión (Fuente: LanammeUCR, 2009).

El enfoque del diagnóstico, así como del análisis de los datos asociados a la red se orienta hacia las principales vías del cantón, no obstante, *se aclara que las vías que no se contemplan en el presente estudio deben ser gestionadas a través de otra estrategia de conservación debido al bajo flujo vehicular que se presenta sobre estas mismas.*

3.2.2. Determinar tránsito promedio diario (TPD) y clasificación vehicular

Conocer las principales características del tránsito, tanto en cantidad como tipo de vehículos, que circulan sobre la red vial cantonal es fundamental para el planeamiento de la inversión a realizar sobre las diferentes vías. Datos actualizados del tráfico permiten establecer la demanda vehicular de las diferentes rutas, la cual está estrechamente relacionada con el diseño de la estructura del pavimento necesaria o con la aplicación de medidas correctoras de rehabilitación o mantenimiento oportunas. Es por esto que el desarrollar el hábito de medir el tránsito al menos cada año en puntos estratégicos de la red es esencial para una adecuada gestión vial.

Para determinar el TPD se deben realizar conteos vehiculares que incluyan la clasificación vehicular en las vías primarias y de travesía de la RVC. El propósito de los conteos de tránsito es conocer la cantidad y tipos de vehículos que transitan por la RVC. *La UTGV de la Municipalidad de La Unión es responsable de realizar éstos conteos*, los cuales suministran información indispensable para la realización de un correcto diagnóstico de la red vial.

Los puntos de conteo vehicular, se escogen en las vías primarias o de travesía que proporcionan mayores flujos vehiculares.

Los conteos vehiculares se deben realizar utilizando el equipo de MetroCount, facilitado por el LanammeUCR, después de recibir la respectiva capacitación. Algunos aspectos que se deben considerar para realizar los conteos de tránsito son:

- Realizar los conteos durante periodos de tránsito normal, nunca en vacaciones o feriados.
- Deben realizarse en días laborales (lunes a viernes). Preferiblemente martes, miércoles o jueves para evitar el efecto fin de semana.
- Tomar en cuenta ambos periodos de hora pico en los conteos.
- Escoger los sitios de mayor flujo vehicular de la calle o tramo a evaluar.

El volumen y tipo de tránsito cambian continuamente; por lo tanto, los conteos se deben actualizar periódicamente.

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



Figura 3. Cables y contadores automáticos en sitio. (Fuente: LanammeUCR, 2008).

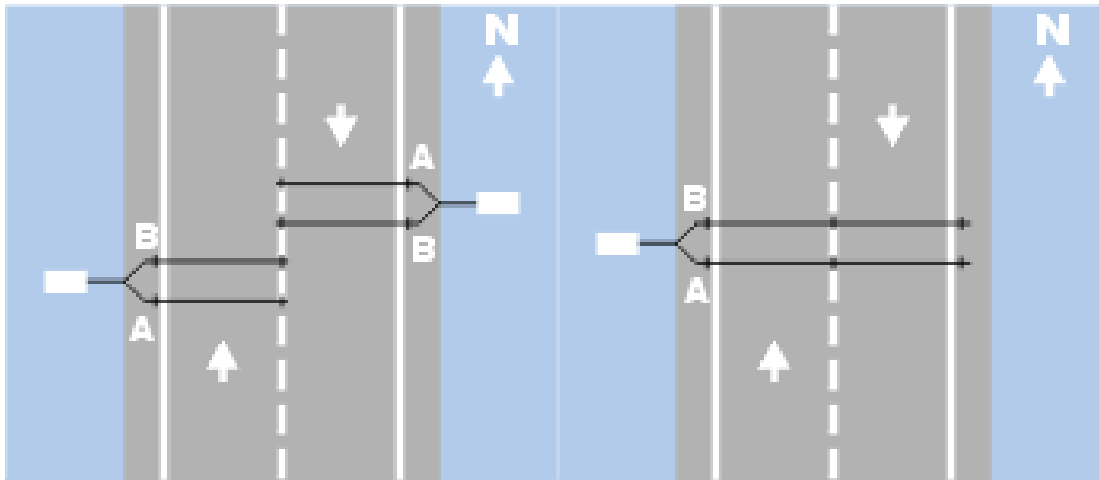


Figura 4. Configuración de los contadores. (Fuente: LanammeUCR, 2008).

El esquema de la izquierda muestra la configuración ideal, el de la derecha muestra una configuración que resulta en pérdida de precisión.

3.2.3. Identificar Condición Funcional

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

1. Deterioro Superficial (Vizir).
2. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).
3. Drenajes

3.2.3.1. Deterioro Superficial

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

Para cuantificar los daños se puede realizar un levantamiento de los daños que presentan las vías, al utilizar la metodología Vizir como herramienta, los daños se clasifican en dos categorías: a) Daños Estructurales, b) Daños Superficiales.

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

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

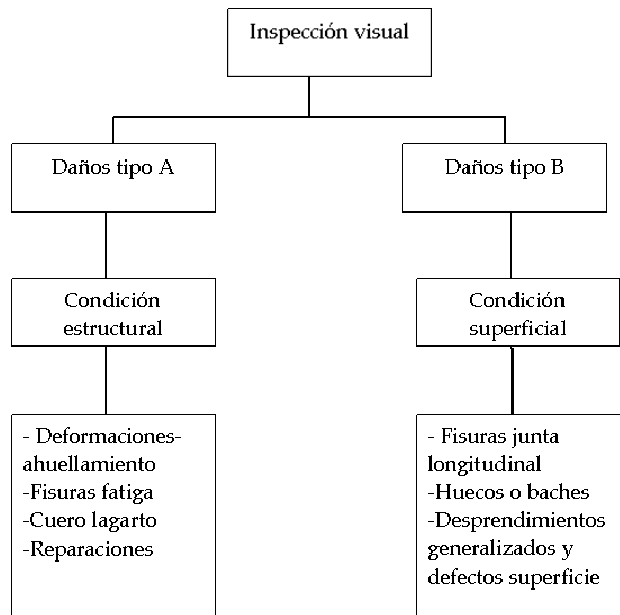


Figura 5. Esquema de inspección visual en metodología VIZIR (Fuente: LanammeUCR, 2008).

La Figura 6 muestra como determinar los diferentes niveles de gravedad de los distintos tipos de deterioros superficiales (Tipo B), los deterioros tipo A se determinan con criterios similares a los utilizados para evaluar los deterioros estructurales.

NIVELES DE GRAVEDAD DE LOS DETERIOROS DEL TIPO B

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

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

Figura 6. Niveles de gravedad de deterioros Tipo B (Fuente: Guía Metodológica para el diseño de obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras).

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

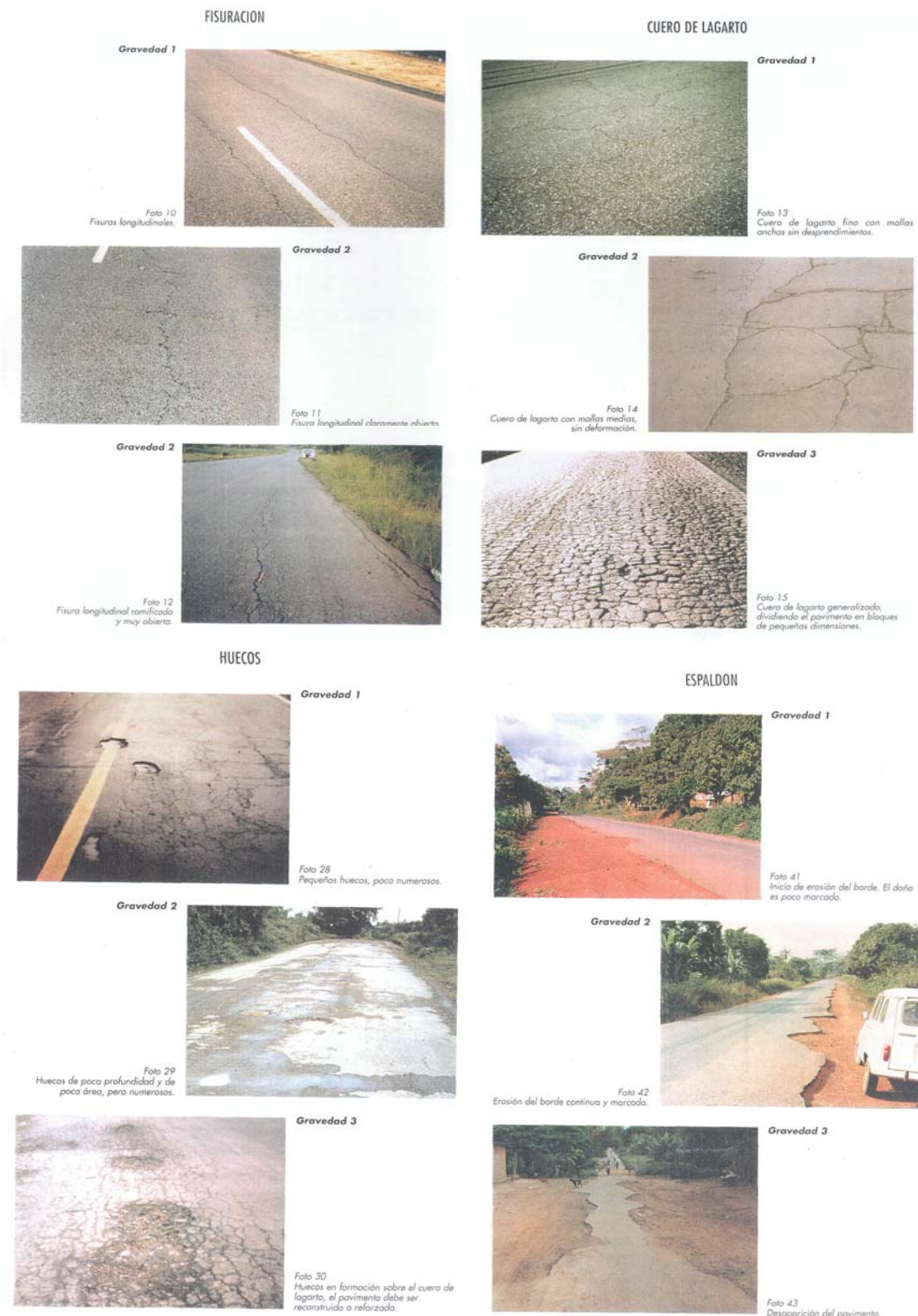


Figura 7. Ejemplos de daños superficiales con metodología VIZIR (Fuente: VIZIR, técnicas y métodos).

La metodología VIZIR cuenta con dos índices: índice de deformación e índice de fisuración. La Figura 8 muestra como se combinan ambos índices para obtener el respectivo índice de deterioro superficial o daño.

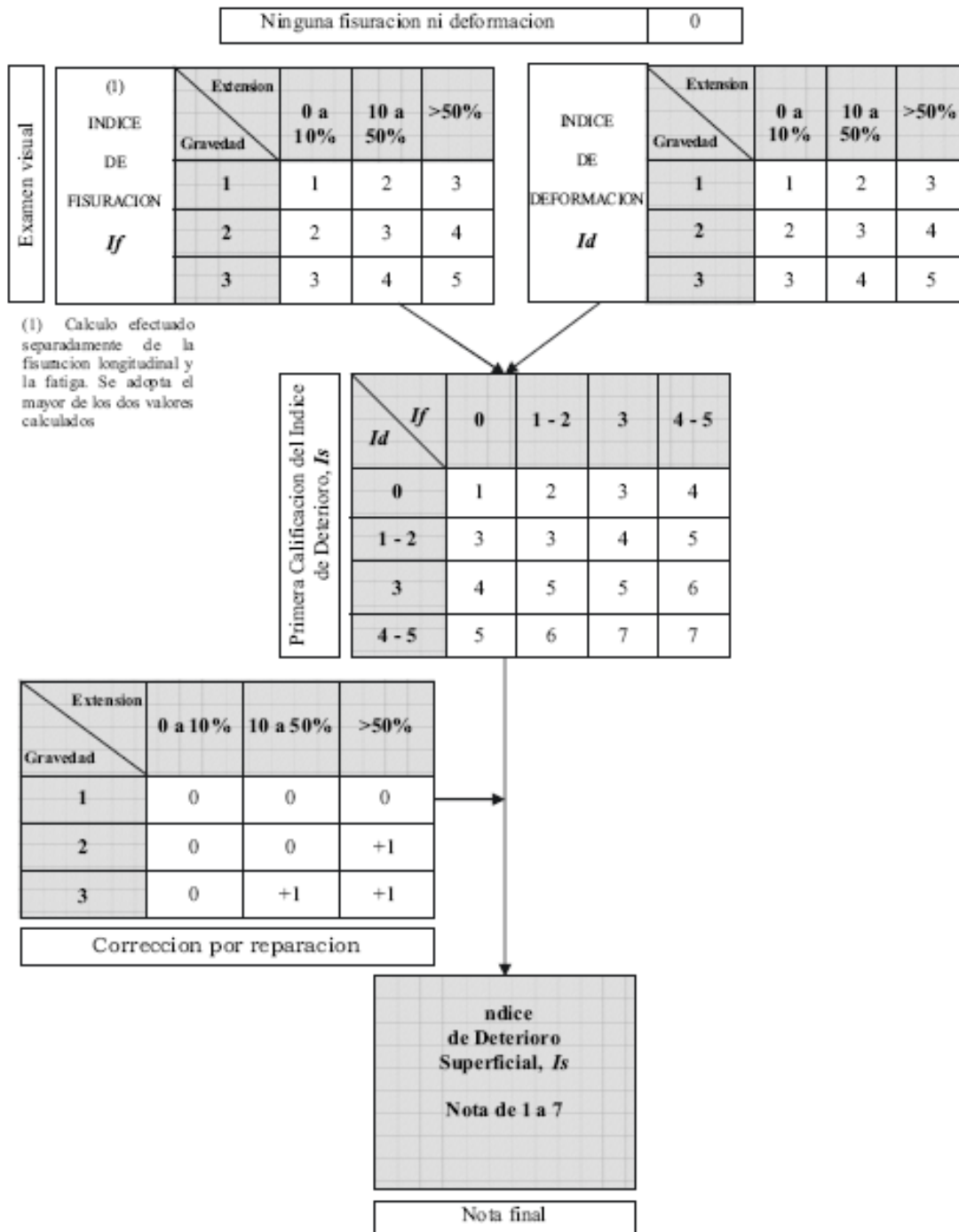
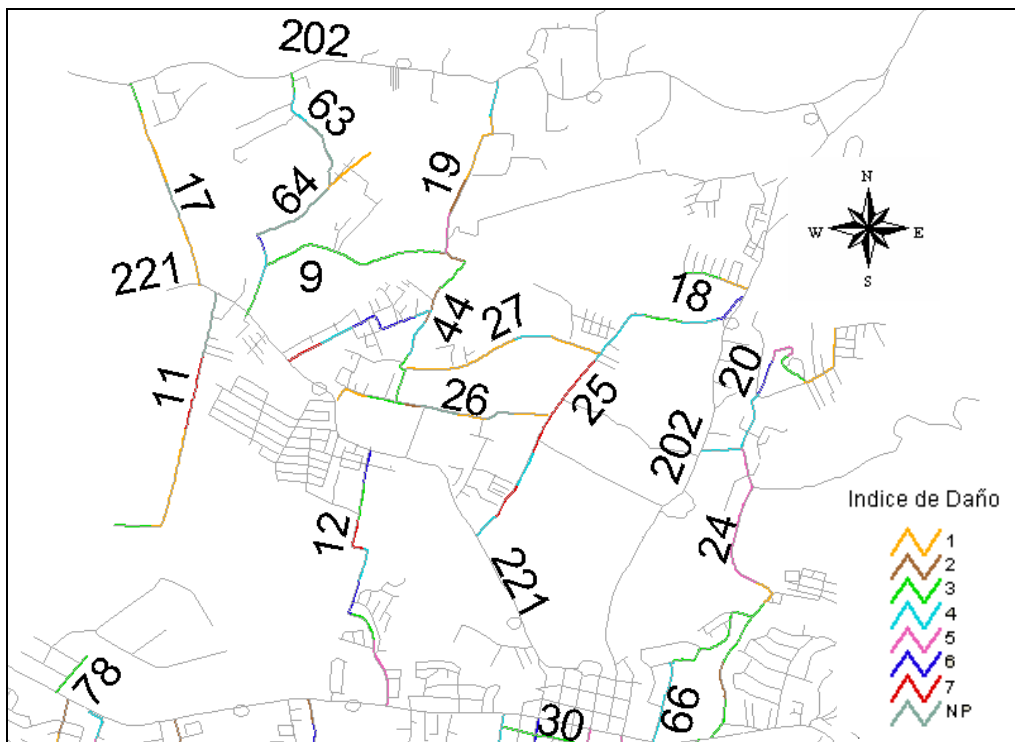
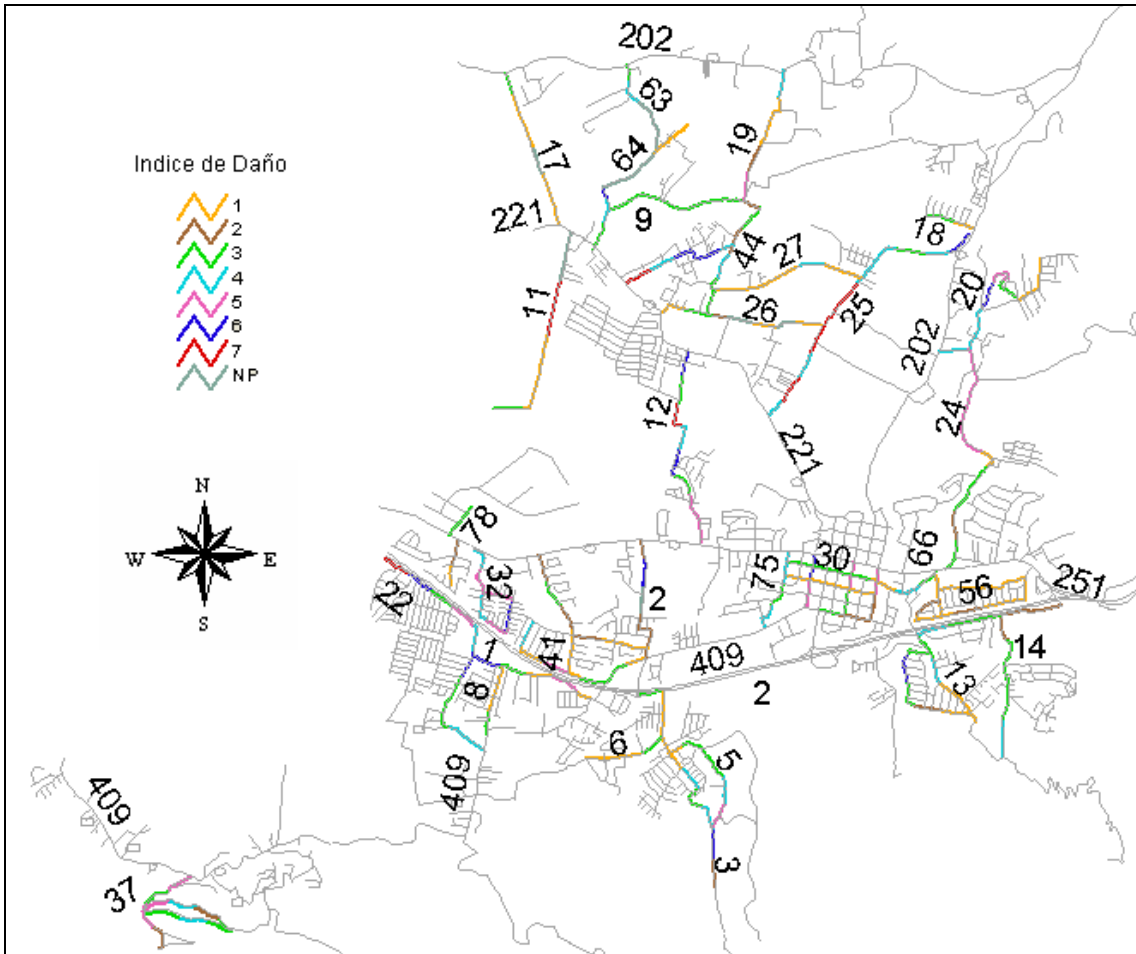


Figura 8. Obtención del Índice de Daño con metodología VIZIR (Fuente: VIZIR, técnicas y métodos).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el índice de daño en la RVC de La Unión, donde una nota de 1 indica que la vía se encuentra en muy buenas condiciones, mientras que una nota de 7 se asocia a tramos en pésima condición. En los tramos en que no existía superficie de rodadura, es decir tramos no pavimentados se identifican con las siglas NP.



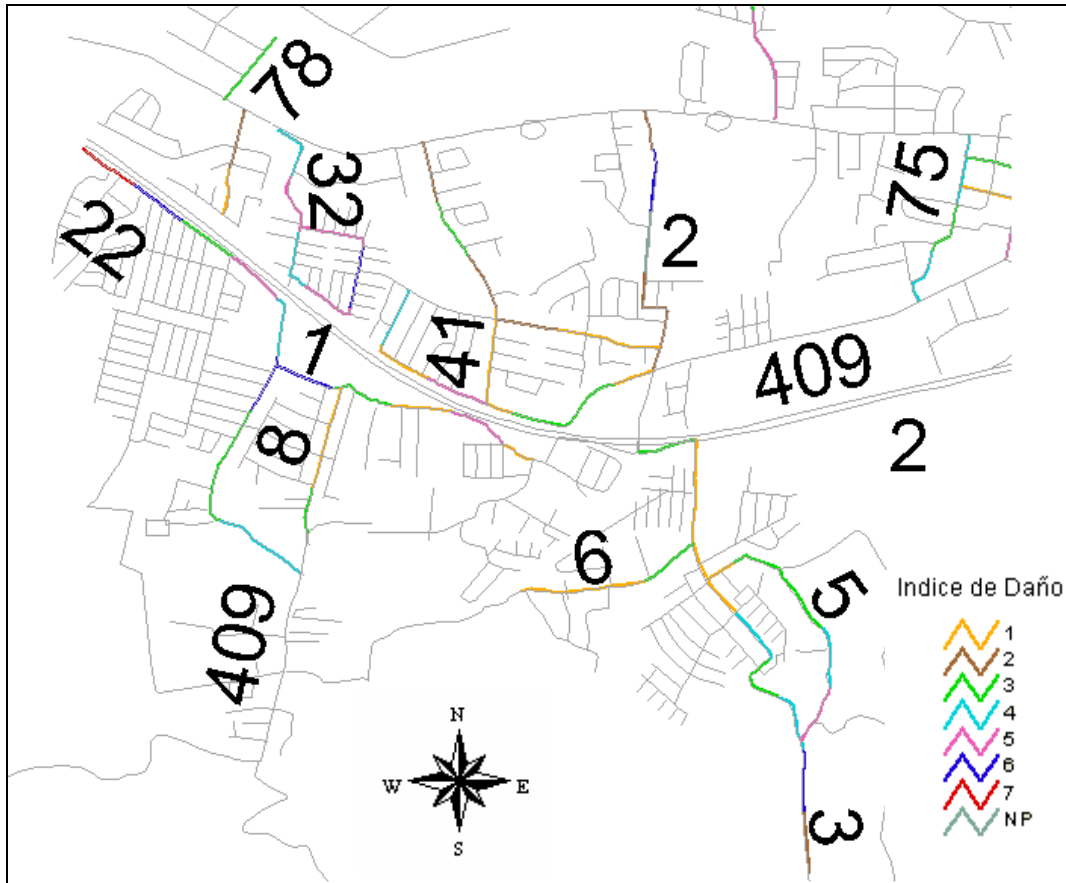


Figura 11. Índice de Daño de la RVC de La Unión, sector Sur Oeste (Fuente: LanammeUCR, 2009).

3.2.3.2. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

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

El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie 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, como se representa en la Figura 12.

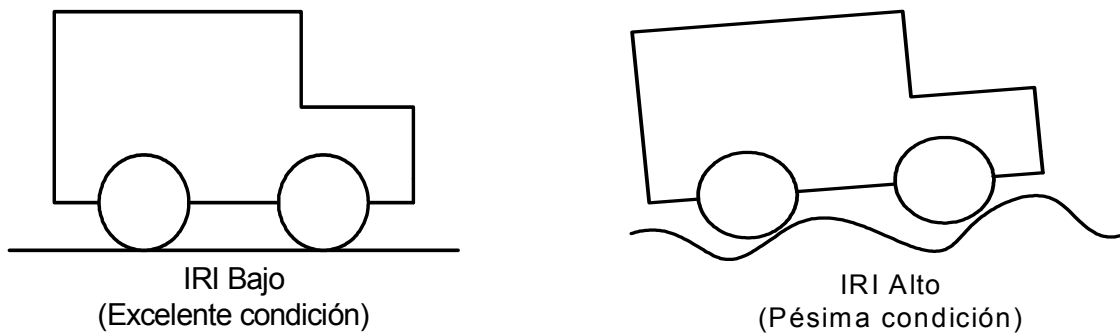


Figura 12. Representación física del Índice de Rugosidad Superficial (Fuente: LanammeUCR, 2008).

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

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

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

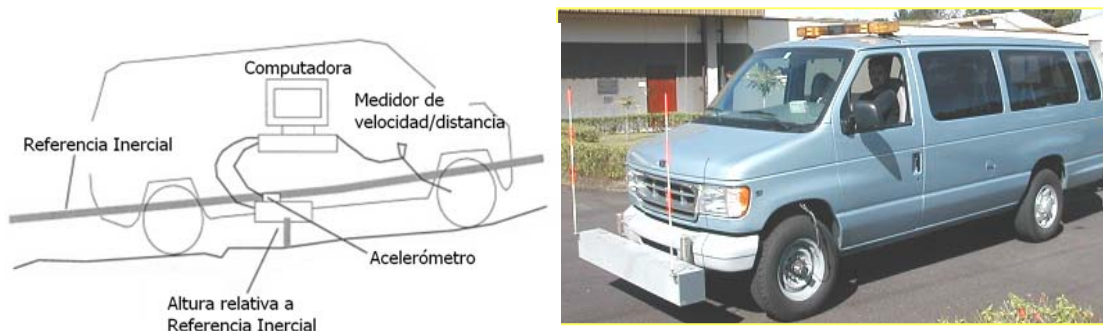


Figura 13. Perfilómetro Inercial Láser (Fuente: LanammeUCR, 2008).

El IRI se midió sobre la red vial pavimentada de la Ciudad de La Unión a cada 25 metros, esta evaluación se realizó con el perfilómetro láser del LanammeUCR, y se hizo en el mes de febrero del 2009 abarcando todas las Rutas Primarias, Secundarias y de Travesía del cantón de La Unión con una longitud aproximada de 44 Km.

Los valores de IRI, en general se consideran buenos cuando son menos de 3.0 y malos cuando son más de 5.0. Las vías sobre las que se evaluó el IRI en el 2009 se presentan en la Figura 14.

El agua de lluvia, o de cualquier otra fuente, debe ser drenada rápidamente de la carretera; el sistema de drenaje garantiza más vida útil al camino o carretera. Costa Rica es un país sumamente lluvioso, por tanto, el factor drenaje es muy relevante.

Se recomienda que la UTGV recopile fotografías para que elabore un catálogo fotográfico de toda la RVC cada 50 metros, en el que se pueda observar la superficie de rodadura y el estado de los drenajes.

Es importante contar con un inventario del tipo de drenaje con el que cuentan las vías, por ejemplo un catálogo de drenajes, para poder determinar su cambio con el pasar del tiempo y valorar el cambio en su estado, deterioro y otros detalles importantes para poder asignar períodos de mantenimiento, rehabilitación, reconstrucción, etc. El objetivo último es poder incorporar los drenajes con los demás elementos que conforman la vía, con el fin de maximizar los recursos disponibles.

3.2.4. Identificar condición estructural

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

Estas mediciones se realizaron con el equipo deflectómetro de impacto (FWD, por sus siglas en inglés), tomando mediciones cada 50 metros durante el mes de marzo del 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. A continuación se muestran dos imágenes con el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones.

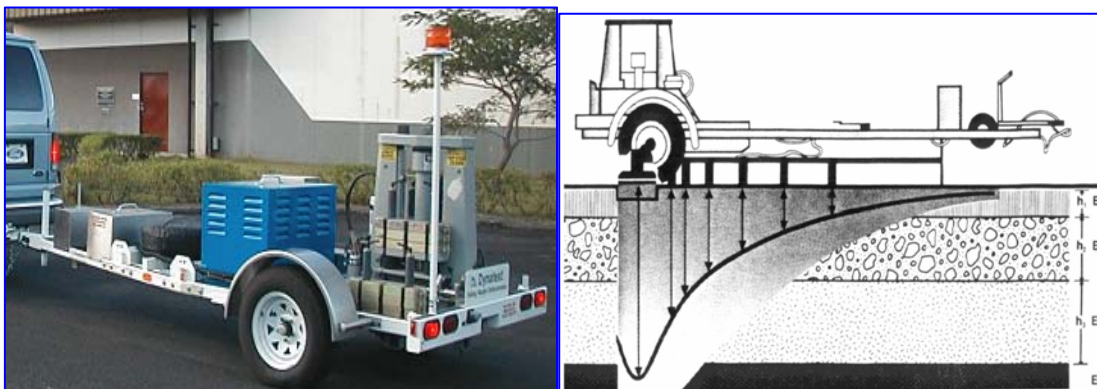


Figura 15. Equipo de deflectometría de impacto (Fuente: LanammeUCR, 2008).

En un estudio realizado por LanammeUCR (Mayo, 2008), se determinaron rangos para las diferentes deflexiones asociadas a distintas categorías de TPD. En la Figura 16 se presentan los rangos obtenidos para las vías nacionales costarricenses.

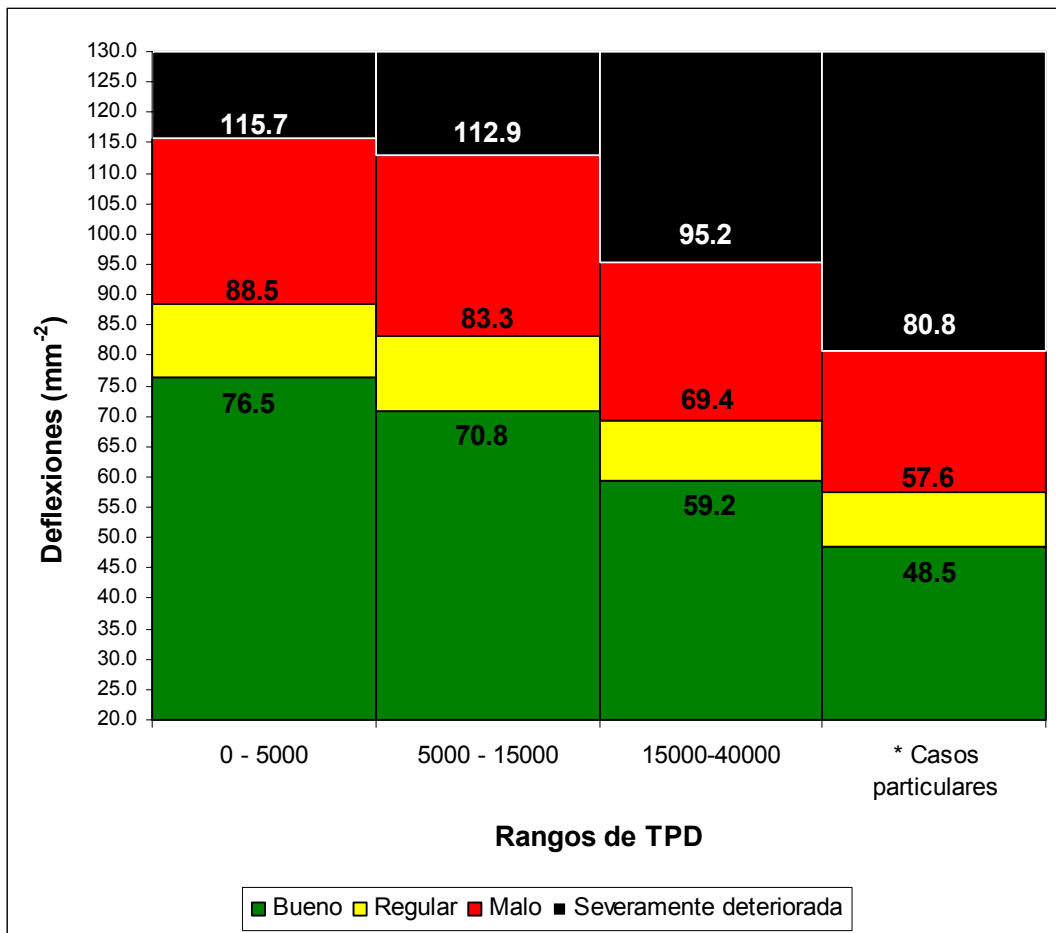


Figura 16. Condición del pavimento a partir de deflectometría y TPD, para una base granular. (Fuente: LanammeUCR, 2008).

Para la deflectometría se tomaron datos cada 50 metros para las diferentes rutas de Municipalidad de La Unión cubriendo una longitud total evaluada cercana a los 45 Km. Es importante destacar que debido a que no se ha suministrado por parte de la municipalidad la información referente al TPD de las vías, no es posible categorizar las deflexiones realizadas. Por este motivo en el siguiente mapa todo se presenta de un mismo color.

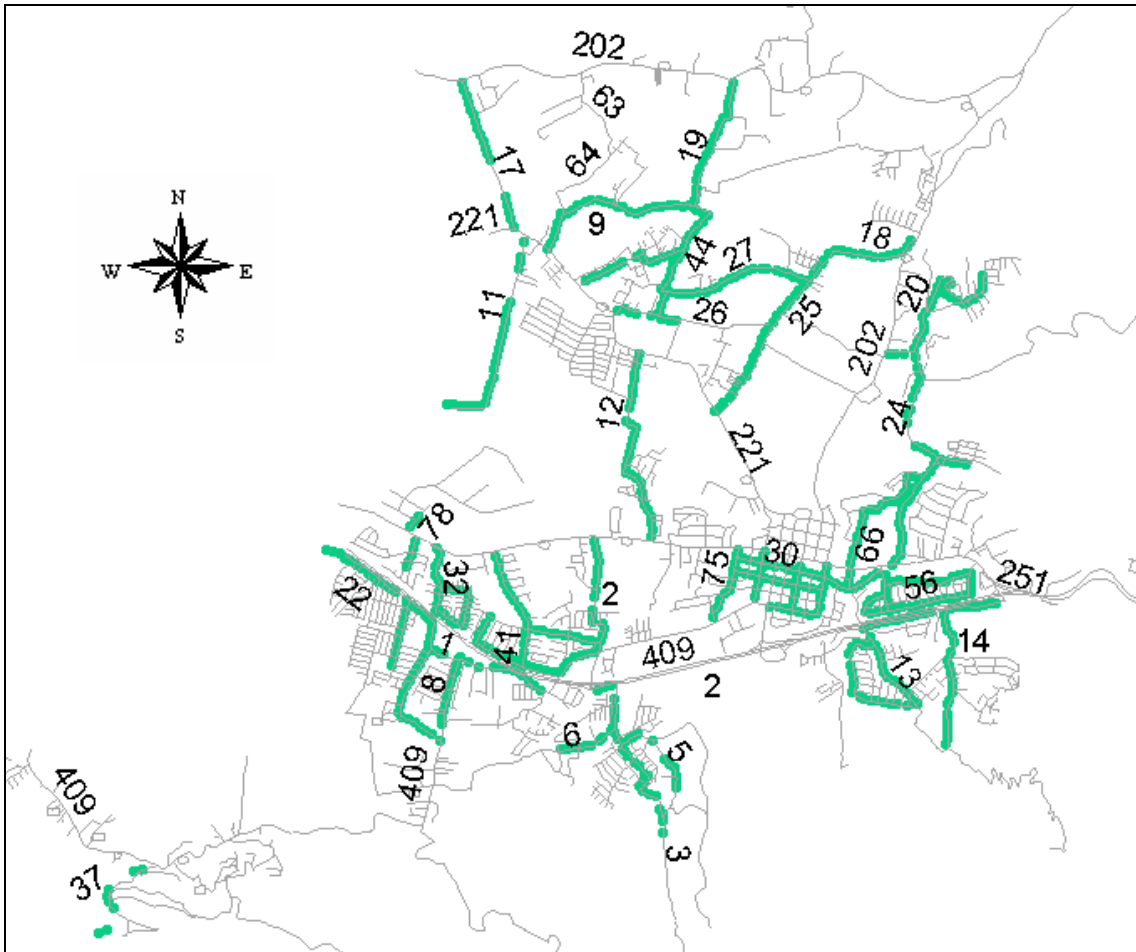


Figura 17. Puntos de evaluación de la RVC del cantón de La Unión a partir de deflectometría (2009) (Fuente: LanammeUCR, 2009).

3.2.5. Caracterización de la estructura del pavimento

En esta sección se determina la estructura y el tipo materiales que componen el pavimento. La Figura 18 contiene un ejemplo de un pavimento; en Costa Rica sin embargo frecuentemente no se cuenta con la capa grava bitumen (base estabilizada).

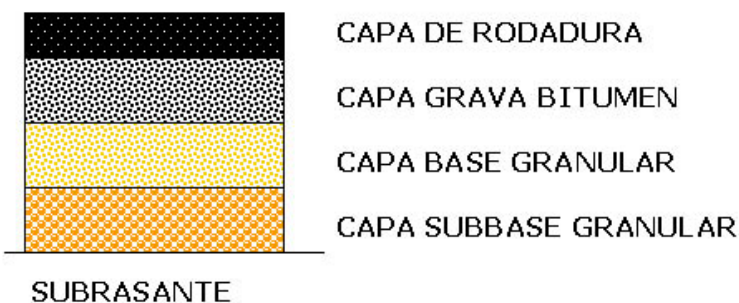


Figura 18. Ejemplo de estructura de pavimento.

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

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

3.2.5.1. Estructura del pavimento

Se realizan excavaciones para determinar los espesores de las capas del pavimento:

- Carpeta
- Base
- Sub-base
- Sub-rasante

Las excavaciones se realizan en puntos estratégicos tomando en cuenta la clasificación de las vías del cantón y la deflectometría, considerando las vías principales de la RVC.

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos por el LanammeUCR a partir de los sondeos. Además en la Figura 19 se observa la ubicación de los puntos de sondeos.

Tabla 2. Espesores de las capas del pavimento según los sondeos realizados.

ID	Sondeo	CA (cm)	BE (cm)	BG (cm)	SB (cm)	Relleno (cm)	Pav (cm)
1	1	3.0	-	12	16	23	54
2	2	4.0	-	19	20	-	43
3	3	9.0	-	8	-	-	17
4	4		-		-	-	0
5	5	9.0	-	20	-	-	29
6	6	9.0	-	37	-	-	46
7	7	6.0	-	23	-	20	49
8	8	6.0	-	15	-	54	75
9	9	8.0	-	12.5	22.5	12.5	55,5
10	10	7.0	-	5	-	-	12
11	11	9.0	-	16	-	-	25
12	12	7.0	-	12	-	7	26
13	13	15.0	-	6	-	8	29
14	14	5.0	-	20	43	-	68
15	15	9.0	30		40	-	79
16	16	20.0	-	46	-	-	66
17	17	3.0	-	47	-	-	50
18	18	6.0	-	25	-	-	31
19	19	10.0	-	50	-	-	60
20	20	5.0	-	20	20	-	45
21	21	3.5	-	20	14	16	53,5
22	22	5.5	-	25	-	-	30,5
23	23		-		-	-	0
24	24	10.0	-	24	-	-	34
25	25	4.0	-	8	-	-	12
26	26	3.0	21	15	-	14	53
27	27		-	30	30	40	100
28	28	2.5	-	31	-	-	33,5
29	29	4.5	-	15.5	-	25	45
30	30	55.0	-	20	26	-	101
31	31	4.5	-	34.5	-	-	39
32	32	6.0	-	16	10	10	42
33	33	16.0	-	18	-	-	34
34	34	12.0	-	29	-	-	41
35	35	16.0	-	20	-	21	57
36	36	7.0	-	10	17	-	34
37	37	4.0	-	11	-	30	45
38	38	4.0	-	45	-	-	49
39	39	9.0	-	16	-	12	37
40	40	4.0	-	15	26	-	45
41	41	3.5	-	28	-	12	43,5
42	42	6.5	-	49	-	-	55,5
43	43	3.5	-	18	26	-	47,5
44	44	3.0	10	25	-	-	38
45	45	4.0	-	19	-	15	38
46	46	11.0	-	-	-	14	25
47	47	5.5	-	19	-	-	24,5
48	48	8.0	-	18	-	20	46
49	49	15.0	-	-	-	29	44
50	50	6.0	-	17	-	40	63

(Fuente: LanammeUCR, 2009)

La nomenclatura utilizada en los encabezados se describe a continuación:

CA: Carpeta asfáltica.

BE: Base estabilizada.

BG: Base granular.

SB: Sub-base.

Pav: Espesor total del pavimento.

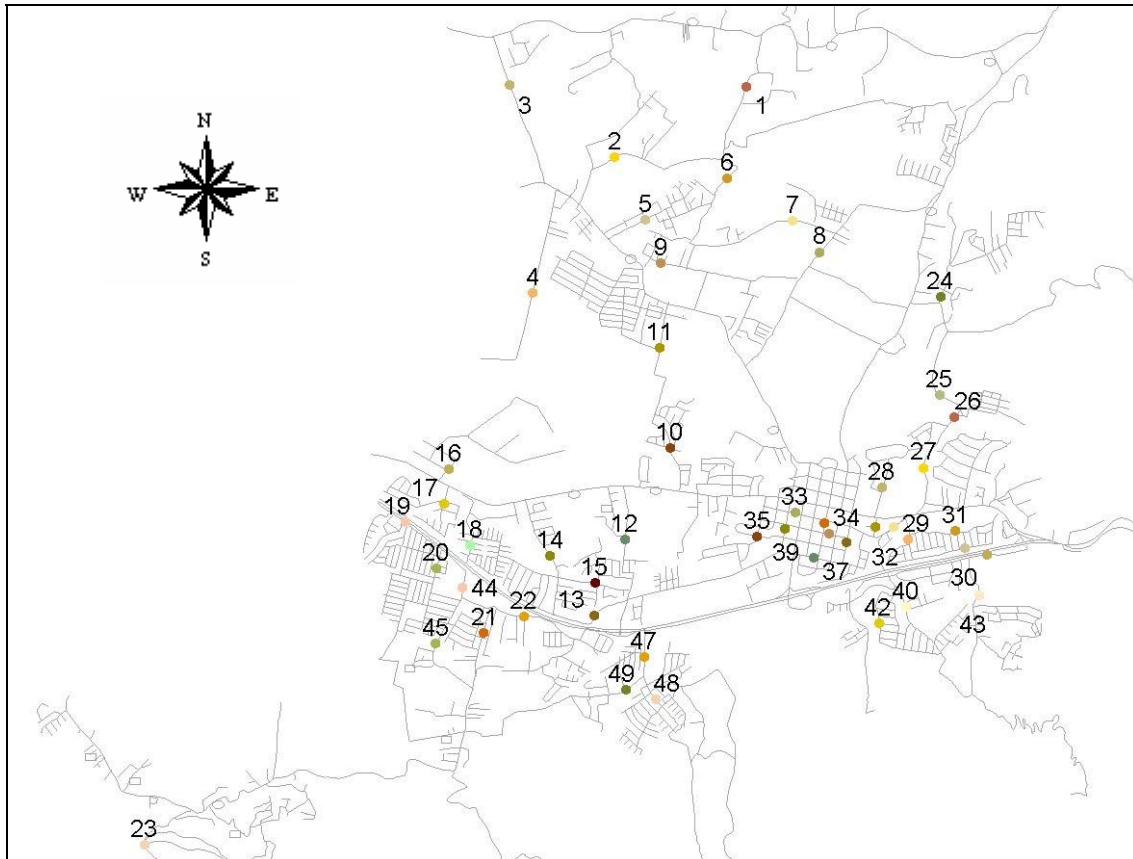


Figura 19. Ubicación e identificación de los sitios de sondeo realizados. (2009) (Fuente: LanammeUCR, 2009).

3.2.5.2. Caracterización de la sub-rasante del pavimento.

Se realizaron ensayos de laboratorio para conocer las características de la sub-rasante que compone la estructura del pavimento.

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

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Gravedad Específica

El objetivo es conocer la sub-rasante que compone la estructura del pavimento con un mayor detalle, con el fin de poder tomar decisiones a futuro sobre las intervenciones específicas en los diferentes tramos de la Red Vial Cantonal.

A partir de los datos generados en el laboratorio, referentes a la granulometría y a los límites de consistencia, se clasificó la sub-rasante según el sistema de clasificación del SUCS, esta información se presenta en la siguiente figura. Es importante tener claro la simbología utilizada:

- MH: Limo inorgánico, limo micáceos o diatomáceos, limos elásticos.
- ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
- Nt: No fue posible realizar las pruebas correspondientes debido a la alta cantidad de material orgánico presente en la muestra o no fue posible extraer material del sub-rasante al realizar el sondeo.
- SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
- SW: Arenas bien gradadas, arenas con grava, con poco o nada de finos.
- CH: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
- SM-ML: Presenta características tanto de SM como ML.
- SC-CL: Presenta características tanto de SC como CL. Donde SC son arenas arcillosas. Mezclas de arena y arcillas.

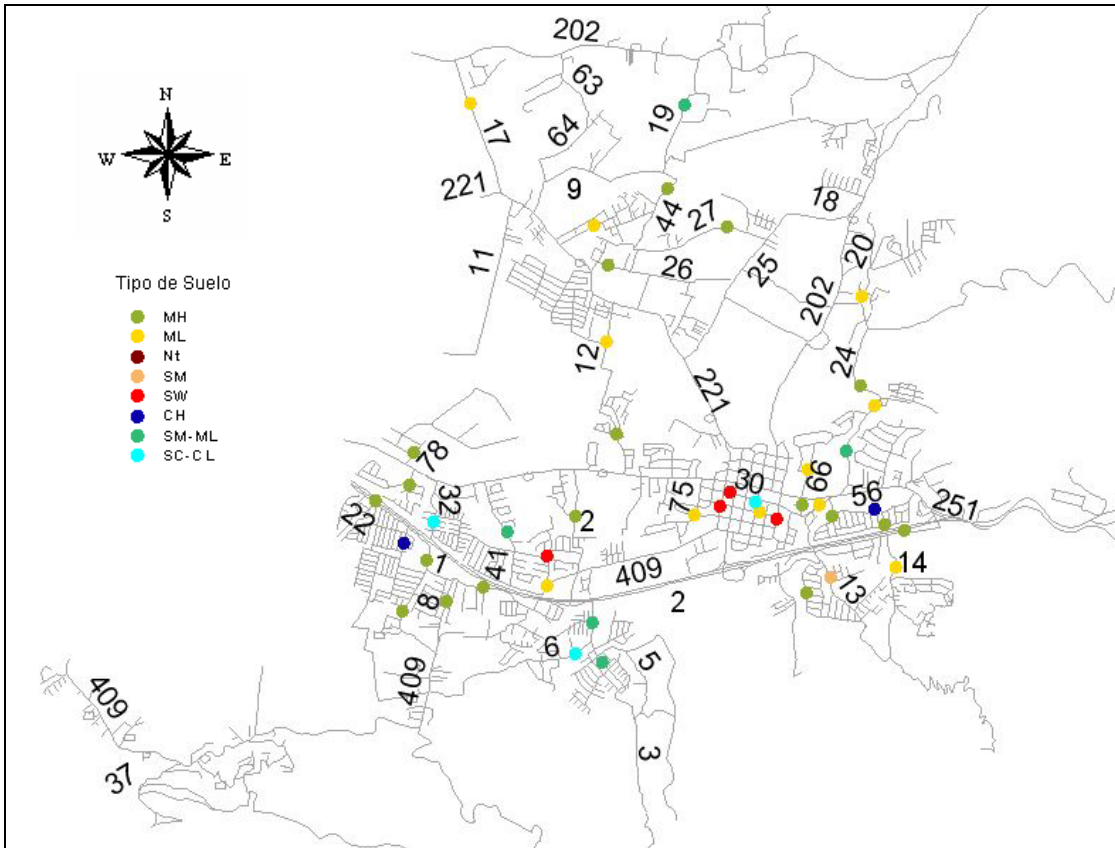


Figura 20. Tipo de suelo para la sub-rasante en el cantón de La Unión (Fuente: LanammeUCR, 2009).

Tabla 3. Clasificación del tipo de suelo de la sub-rasante obtenido a partir de las muestras tomadas.

Sondeo	Muestra	% Pasando				LL	LP	IP	SUCS	AASHTO
		F4	F10	F40	F200					
1	1569-09	100	100	93,65	45,7	29	25	4	SM-ML	A-4 (1)
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1443-09	100	100	90,99	70,92	50	35	15	ML	A-7-5 (12)
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1445-09	100	100	92,54	67,48	41	28	13	ML	A-7-6 (8)
6	1474-09	100	100	96,76	78,38	62	51	11	MH	A-7-5 (14)
7	1474-09	100	100	96,76	78,38	62	51	11	MH	A-7-5 (14)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	1446-09	100	100	90,27	68,31	50	36	14	MH	A-7-5 (10)
10	1631-09	100	100	94,73	87,63	65	37	28	MH	A-7-5 (30)
11	1572-09	100	100	95,34	63,14	38	30	8	ML	A-4 (4)
12	1386-09	100	100	95,79	89,02	65	33	32	MH	A-7-5 (34)
13	1572-09	100	100	95,34	63,14	38	30	8	ML	A-4 (4)
14	1448-09	100	100	65,99	35,36	34	28	7	SM-ML	A-7-5 (1)
15	1659-09	100	100	89,12	46,8	33	24	9	SW	A-4 (2)
16	1663-09	100	100	96,13	77,18	53	37	16	MH	A-7-5 (15)
17	1663-09	100	100	96,13	77,18	53	37	16	MH	A-7-5 (15)
18	1650-09	100	100	66,26	46,32	37	24	13	SC-CL	A-6 (3)
19	1386-09	100	100	95,79	89,02	65	33	32	MH	A-7-5 (34)
20	1406-09	100	100	91,02	77,08	54	28	26	CH	A-7-6 (21)
21	1647-09	100	100	92,65	82,78	59	36	23	MH	A-7-5 (23)
22	1386-09	100	100	95,79	89,02	65	33	32	MH	A-7-5 (34)
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	1443-09	100	100	90,99	70,92	50	35	15	ML	A-7-5 (12)
25	1446-09	100	100	90,27	68,31	50	36	14	MH	A-7-5 (10)
26	1445-09	100	100	92,54	67,48	41	28	13	ML	A-7-6 (8)
27	1448-09	100	100	65,99	35,36	34	28	7	SM-ML	A-7-5 (1)
28	1445-09	100	100	92,54	67,48	41	28	13	ML	A-7-6 (8)
29	1386-09	100	100	95,79	89,02	65	33	32	MH	A-7-5 (34)
30	1407-09	100	100	94,48	83,93	57	37	20	MH	A-7-5 (21)
31	1406-09	100	100	91,02	77,08	54	28	26	CH	A-7-6 (21)
32	1443-09	100	100	90,99	70,92	50	35	15	ML	A-7-5 (12)
33	1659-09	100	100	89,12	46,8	33	24	9	SW	A-4 (2)
34	1691-09	100	100	90,85	59,24	39	27	12	ML	A-6 (6)
35	1691-09	100	100	90,85	59,24	39	27	12	ML	A-6 (6)
36	1663-09	100	100	96,13	77,18	53	37	16	MH	A-7-5 (15)
37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	1659-09	100	100	89,12	46,8	33	24	9	SW	A-4 (2)
39	1659-09	100	100	89,12	46,8	33	24	9	SW	A-4 (2)
40	1441-09	100	100	60,8	37,95	39	26	13	SM	A-6 (1)
41	1408-09	100	100	94,63	82,2	53	34	20	MH	A-7-5 (19)
42	1386-09	100	100	95,79	89,02	65	33	32	MH	A-7-5 (34)
43	1409-09	100	100	96,93	83,85	49	28	21	ML	A-7-5 (19)
44	1631-09	100	100	94,73	87,63	65	37	28	MH	A-7-5 (30)
45	1663-09	100	100	96,13	77,18	53	37	16	MH	A-7-5 (15)
46	1720-09	100	100	89,72	47,57	26	22	4	SC-CL	A-4 (1)
47	1569-09	100	100	93,65	45,7	29	25	4	SM-ML	A-4 (1)
48	1651-09	100	100	91,37	71,49	40	25	15	SM-ML	A-6 (10)
49	1650-09	100	100	66,26	46,32	37	24	13	SC-CL	A-6 (3)
50	1407-09	100	100	94,48	83,93	57	37	20	MH	A-7-5 (21)

F4: Tamiz N° 4, 750 mm de diámetro.

F10: Tamiz N°10, 2.000 mm de diámetro.

F40: Tamiz N°40, 0.425 mm de diámetro.

F200: Tamiz N°200, 0.075 mm de diámetro.

Gs: gravedad específica.

LL: Límite Líquido.

LP: Límite Plástico.

IP: Índice de plasticidad.

En la Tabla 3 se muestran las clasificaciones según SUCS y AASHTO para el suelo de la sub-rasante en los puntos de muestreo realizados, esta clasificación se realiza a partir de la granulometría del suelo, la gravedad específica y los límites Atterberg. Cabe destacar que no a todos los sondeos mostrados en la Tabla 1 se les aplican estos ensayos, sino que se toman familias con propiedades similares y a la más representativa se le aplican las pruebas necesarias.

3.2.5.3. Clasificación de sub-rasante según CBR

En esta sección se analiza la RVC tomando en cuenta el valor de CBR obtenido en sitio, el mismo proporciona un índice de la resistencia de la capa de la sub-rasante para resistir carga. En la siguiente imagen se muestra la prueba realizada en sitio.



Figura 21. Prueba de CBR en sitio (Fuente: LanammeUCR, 2008).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para CBR y los sitios donde se realizó en ensayo. Es importante destacar que la obtención del valor de CBR en sitio no pudo ser realizada sin embargo, es posible asociar un rango de CBR según la clasificación SUCS:

- MH: el rango de CBR in situ para este tipo de suelos se encuentra entre 4-8.
- ML: el rango de CBR in situ para este tipo de suelos se encuentra entre 5-15.
- SM: el rango de CBR in situ para este tipo de suelos se encuentra entre 10-40.
- SW: el rango de CBR in situ para este tipo de suelos se encuentra entre 20-40.
- CH: el rango de CBR in situ para este tipo de suelos se encuentra entre 5-15.

3.2.6. Definir tramos homogéneos

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

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

El producto final será un mapa de identificación de tramos homogéneos de la RVC, y las generalidades de cómo se determinan los respectivos tramos homogéneos. Además de los parámetros respectivos caracterizando cada tramo homogéneo.

4. Bibliografía

- **Gestión de Infraestructura Vial.** Solminihac, Hernán. Editado por la Universidad Católica de Chile, Vicerrectoría Académica. Primera Edición. Chile. Diciembre, 1998.
- **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.
- **Ley No. 8603:** Modificación de la ley de simplificación y eficiencia tributarias para asegurar el giro oportuno de los recursos aprobados en las leyes de presupuestos de la república destinados a garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública en reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense. La Gaceta 196, Octubre, 2007.
- **Sistema piloto de administración de pavimentos en la Municipalidad de Belén, Heredia.** Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, Costa Rica. Febrero, 2009. López Ramírez, Sharline.
- **Ley No. 8114:** Ley de Simplificación y Eficiencia Tributarias. La Gaceta, Julio, 2006.