



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales

Proyecto: LM-PI-GM-13-2013

# **EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE BUENOS AIRES: DIAGNÓSTICO RED VIAL CANTONAL**

Preparado por:

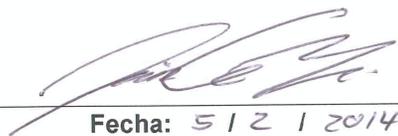
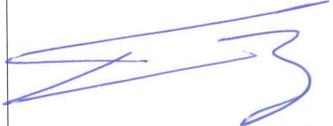
**Unidad de Gestión Municipal  
PITRA-LanammeUCR**

San José, Costa Rica  
Febrero, 2013



Documento generado con base en el Art. 6, inciso j) de la ley 8114 según la reforma aprobada en la ley 8603. Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

Información técnica del documento

<b>1. Informe</b> LM-PI-GM-13-2013		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> EVALUACIÓN DE LA RED VIAL CANTONAL DE BUENOS AIRES: DIAGNÓSTICO RED VIAL CANTONAL.		<b>4. Fecha del Informe:</b> Febrero, 2013
<b>7. Organización y dirección</b> Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
<b>8. Notas complementarias</b>		
<b>9. Resumen</b> <i>El estudio realizado en las principales rutas de la red vial cantonal pavimentada de Buenos Aires durante el año 2012 y 2013, contempla el diagnóstico de la red vial. En el presente informe se detalla la evaluación de 11 km, esta incluye diferentes parámetros como: deflectometría, IRI (Índice de Regularidad Internacional), conteos vehiculares y sondeos a cielo abierto. Las deflexiones en la RVC estudiada muestran que un 94% de las mediciones realizadas corresponden a una condición estructural buena, mientras que un 2% de las mediciones están asociadas a una condición de daño estructural considerable. En cuanto a las mediciones de IRI se determinó que un 29% de estas corresponden a una condición de irregularidad severa, con valores de IRI iguales o superiores a 10 m/km, sin embargo un 71% se encuentra en una condición entre buena y regular. En términos generales el tipo de subrasante encontrado en las rutas estudiadas, es de baja resistencia al corte y son caracterizadas por estar conformadas por materiales finos como limos o arcillas.</i>		
<b>10. Palabras clave</b> Evaluación de Carreteras, Gestión, Red vial Cantonal, Buenos Aires, Diagnóstico	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 43
<b>13. Preparado por:</b> Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Gestión Municipal   Fecha: 5 / 2 / 2014	<b>Colaboradores</b> Ing. Catalina Vargas Sobrado Ariana Perera Lizano Jonathan Monge Cubillo	<b>14. Revisado por:</b> Ing. Sharline López Ramírez Unidad de Gestión Municipal
<b>15. Revisado por:</b> Ing. Jaime Allen Monge, MSc Coordinador Unidad de Gestión Municipal   Fecha: 5 / 2 / 2014		<b>16. Aprobado por:</b> Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA   Fecha: 6 / 2 / 2014

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>5</b>
1.1	ASESORÍA TÉCNICA.....	5
1.2	CAPACITACIÓN .....	6
1.3	MUESTREOS, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO .....	6
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
<b>2</b>	<b>PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL .....</b>	<b>7</b>
2.1	IMPORTANCIA .....	7
2.2	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SAP).....	8
2.3	PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL MUNICIPAL .....	10
<b>3</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE BUENOS AIRES .....</b>	<b>11</b>
3.1	OBJETIVO.....	11
3.2	ACTIVIDADES.....	12
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b>	<b>DETALLE DE LOS CONTEOS REALIZADOS EN EL CANTÓN DE BUENOS AIRES.....</b>	<b>19</b>
<b>TABLA 2.</b>	<b>ESPEORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO SEGÚN LOS SONDEOS REALIZADOS.....</b>	<b>30</b>
<b>TABLA 3.</b>	<b>CLASIFICACIÓN DEL CBR.....</b>	<b>38</b>
<b>TABLA 4.</b>	<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA CBR EN SITIO, PARA LOS SONDEOS REALIZADOS.....</b>	<b>39</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS. ....	9
<b>FIGURA 2.</b> ESQUEMA DE PROCESO DE GESTIÓN VIAL. ....	11
<b>FIGURA 3.</b> RUTAS PRIMARIAS DE LA RED VIAL CANTONAL DE BUENOS AIRES. ....	13
<b>FIGURA 4.</b> CABLES Y CONTADORES AUTOMÁTICOS EN SITIO. ....	15
<b>FIGURA 5.</b> CONFIGURACIÓN DE LOS CONTADORES. ....	15
<b>FIGURA 6.</b> SITIOS DE CONTEO EN EL DISTRITO CENTRAL. ....	16
<b>FIGURA 7.</b> VOLUMEN VEHICULAR DIARIO EN EL DISTRITO CENTRAL. ....	18
<b>FIGURA 8.</b> REPRESENTACIÓN FÍSICA DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL. ....	20
<b>FIGURA 9.</b> PERFILÓMETRO INERCIAL LÁSER. ....	21
<b>FIGURA 10.</b> CONDICIÓN DEL IRI PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS EN BUENOS AIRES. ....	22
<b>FIGURA 11.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN FUNCIONAL SEGÚN EL IRI. ....	23
<b>FIGURA 12.</b> EQUIPO DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO. ....	24
<b>FIGURA 13.</b> CLASIFICACIÓN DE LOS VALORES DE DEFLECTOMETRÍA CON DIFERENTES TPD. ....	25
<b>FIGURA 15.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN SEGÚN FWD PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS. ....	27
<b>FIGURA 16.</b> EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO. ....	27
<b>FIGURA 17.</b> UBICACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS EN BUENOS AIRES. ....	29
<b>FIGURA 18.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS MUESTRAS DE SUBRASANTE ESTUDIADAS EN EL CANTÓN DE BUENOS AIRES, CLASIFICACIÓN SUCS. ....	31
<b>FIGURA 19.</b> TIPO DE SUELO SEGÚN LA CLASIFICACIÓN SUCS EN LA LOCALIDAD DE BUENOS AIRES. ....	32
<b>FIGURA 20.</b> DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS MUESTRAS DE SUBRASANTE ESTUDIADAS EN EL CANTÓN DE BUENOS AIRES, CLASIFICACIÓN AASHTO. ....	35
<b>FIGURA 21.</b> TIPO DE SUELO SEGÚN LA CLASIFICACIÓN AASHTO EN LA LOCALIDAD DE BUENOS AIRES. ....	36
<b>FIGURA 22.</b> PRUEBA DE CBR EN SITIO. ....	37
<b>FIGURA 23.</b> CLASIFICACIÓN DE LA SUBRASANTE SEGÚN EL CBR, LOCALIDAD DE BUENAS AIRES. ....	38



## 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, adicionando el inciso j) que dispone: “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 Buenos Aires 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 Buenos Aires y la Universidad de Costa Rica convienen en suscribir un Convenio Marco, que presenta las siguientes actividades principales.

### 1.1 Asesoría técnica

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

1. Evaluar la operación y uso de la red vial cantonal del casco central del cantón de Buenos Aires.
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**

LanammeUCR realizará sondeos a cielo abierto, recolección de muestras y ensayos de campo y laboratorio, para conocer y evaluar los pavimentos que conforman la Red Vial Cantonal del casco central de Buenos Aires.

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

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



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

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

## **2 PROCESO DE GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL**

### **2.1 Importancia**

La infraestructura vial está conformada por todos aquellos elementos que facilitan el desplazamiento de los vehículos de un punto a otro de una manera segura y confortable. Entre los elementos que la conforman se encuentran los pavimentos, puentes, la señalización vertical y horizontal, taludes, terraplenes, túneles, dispositivos de seguridad tales como barreras de contención, drenajes, espaldón, entre otros. Todos estos elementos conforman la red vial, la cual debe ser capaz de permitir un servicio de transporte con un nivel adecuado, eficiente y eficaz para sus usuarios.

Un sistema de administración de infraestructura vial contempla la administración adecuada de los recursos económicos y humanos disponibles, de manera que estos sean optimizados para conservar y rehabilitar cada uno de sus componentes, procurando que funcionen como un conjunto armónico en función del usuario, lo cual propicia el desarrollo económico y social de la región en la que se encuentra.

La conservación de las vías se enfoca en dos objetivos fundamentales. El primero de ellos se relaciona con el servicio que se le brinda a los usuarios de la red, brindando una circulación confortable, segura y fluida, disminuyendo con esto los costos de transporte, así como los



tiempos de viaje. Por otro lado, la conservación y mejoramiento del patrimonio vial que forma parte de los activos públicos del Estado.

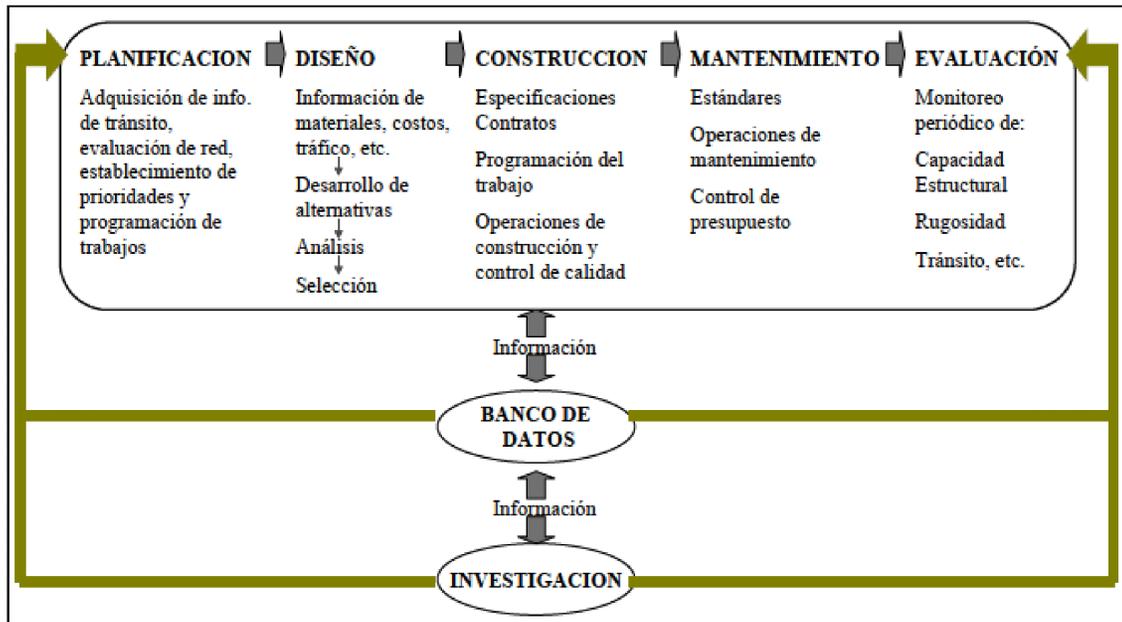
La importancia del tema se enfoca en maximizar los beneficios obtenidos al invertir en la red cantonal de la Municipalidad de Buenos Aires, proporcionando políticas de inversión para la rehabilitación y el mantenimiento de sus rutas basándose en fundamentos técnicos, de manera que se dé una recuperación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

## **2.2 Sistema de administración de pavimentos (SAP)**

Parte fundamental de un sistema de administración de infraestructura son los pavimentos, pues es sobre su capa de rodadura donde diversos medios de transporte se desplazan. A los pavimentos se les asocia la mayor parte de los costos de usuario y es uno de los elementos de la infraestructura que más recursos económicos y financieros demandan para su construcción, así como para su mantenimiento o rehabilitación. De manera general, los pavimentos y carreteras deben ofrecer comodidad de viaje a los vehículos, economía en su operación y seguridad ante posibles accidentes, para lo cual la municipalidad debe establecer planes y desarrollar proyectos de conservación y mejoramiento de sus vías de forma preventiva y garantizando un nivel de servicio adecuado de forma continua.

A través de la aplicación del SAP se disminuye la incertidumbre de la inversión, ya que las decisiones se basan en estudios técnicos que permiten guiar de una mejor manera las inversiones, con el fin de dar un mejor aprovechamiento y rentabilidad a los recursos disponibles.

Un sistema de gestión de pavimentos presenta una estructura general que se compone por cinco etapas bien definidas: planificación, diseño, construcción, mantenimiento y evaluación, las cuales son descritas en la figura 1.



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

Fuente: Haas, 1993.

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

Por otra parte, la utilización de un adecuado sistema de gestión sobre los caminos permitirá obtener el óptimo rendimiento de los recursos invertidos, valorando para tal efecto los diversos costos involucrados. Para aplicar de manera eficaz un sistema de gestión es necesario que el mismo cuente con ciertos requerimientos esenciales:

- Ser fácil de utilizar y que tenga la capacidad de agregar, actualizar y modificar el sistema con nueva información.
- Capacidad de considerar estrategias alternativas dentro de la evaluación.
- Capacidad de identificar la estrategia o alternativa óptima.
- Capacidad de basar sus decisiones en procedimientos racionales, con atributos, criterios y restricciones cuantificables.
- Capacidad de utilizar la información para la retroalimentación del sistema y llevar un control del cambio en las condiciones de la red.



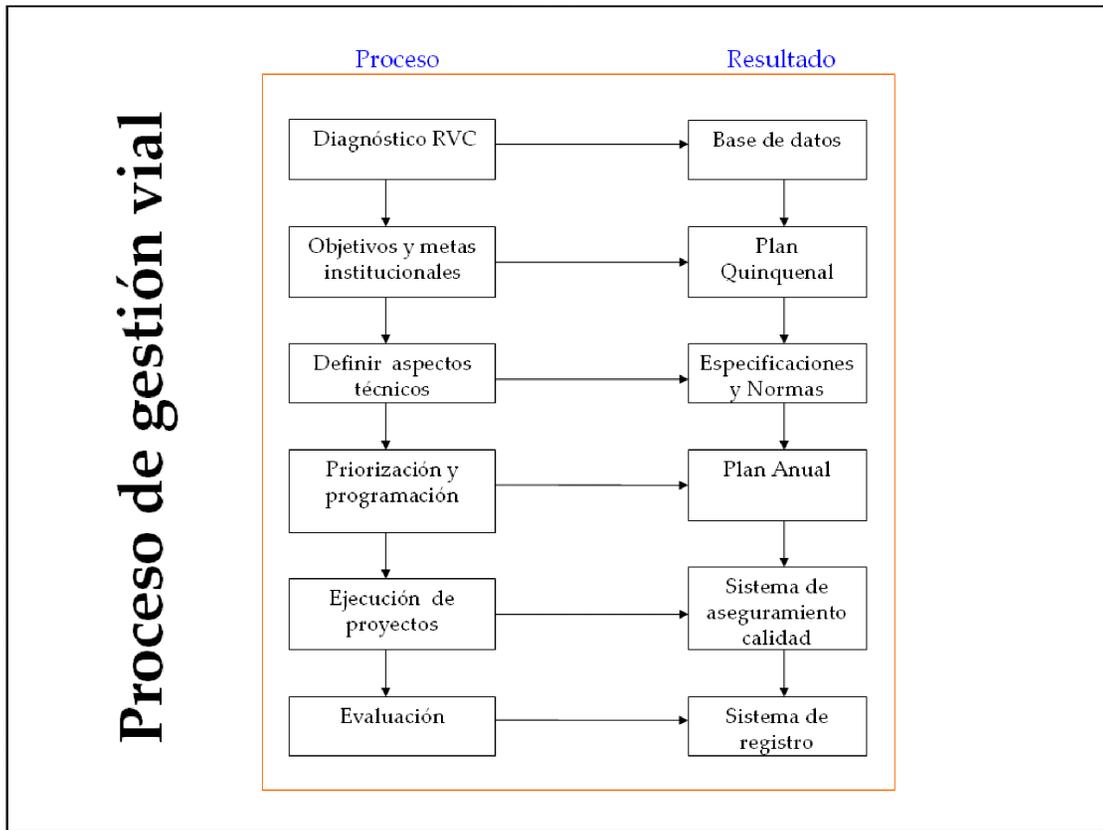
Los pavimentos son estructuras complejas que se ven afectadas por diferentes variables: frecuencia (cantidad de vehículos que circulan en un periodo de tiempo determinado) y peso de vehículos que soportan, solicitaciones de medio ambiente, materiales usados y formas de construcción, mantenimiento, etc.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

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

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

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

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



**Figura 2.**Esquema de proceso de gestión vial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

### 3 DIAGNÓSTICO DE LA RED VIAL CANTONAL DE BUENOS AIRES

#### 3.1 Objetivo

Realizar una evaluación en la RVC de Buenos Aires, con el fin de obtener una base de datos con diferentes características técnicas de la infraestructura vial de la red. El diagnóstico generado será un insumo para definir objetivos y metas institucionales con el fin de desarrollar un plan quinquenal de conservación de la RVC de Buenos Aires.



### 3.2 Actividades

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

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

#### 3.2.1 Clasificación de la RVC

Se evalúa el uso y operación de la RVC y se categorizan las rutas según su función e importancia. Las vías se pueden dividir 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.

Para esta red se identificaron todas las rutas de estudio como calles primarias, correspondiente a superficies de ruedo con carpeta asfáltica o tratamiento superficial. En el siguiente mapa, se identifican las rutas según el tipo de superficie de rodadura, no obstante, la evaluación que se describe en este informe se enfoca en las rutas pavimentadas con asfalto (carpeta asfáltica o tratamiento superficial), como se mencionó anteriormente.



Figura 3. Rutas primarias de la red vial cantonal de Buenos Aires.



### 3.2.2 Tránsito promedio diario (TPD)

Para el planeamiento de la inversión a realizar sobre las diferentes vías, es fundamental conocer las principales características del tránsito, tanto en cantidad como tipo de vehículos que circulan sobre la red vial cantonal. Datos actualizados del tráfico permiten establecer la demanda vehicular de las diferentes rutas, la cual está estrechamente relacionada con el diseño de la estructura del pavimento necesaria o con la aplicación de medidas correctoras para el refuerzo o mantenimiento oportuno. Por ésta razón se recomienda medir el tránsito al menos cada año en puntos estratégicos de la red para conocer la tasa de crecimiento anual de la red en estudio, lo que es una herramienta fundamental para una adecuada gestión vial.

Para determinar el TPD se realizaron 11 conteos vehiculares en el casco central de Buenos Aire y dos sobre ruta nacional. 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 Buenos Aires fue responsable de realizar éstos conteos, los cuales suministran información indispensable para la realización de un correcto diagnóstico de la red vial.

Los conteos vehiculares se realizan sobre sitios representativos de la red vial, principalmente sobre los puntos de mayor tránsito en la zona de estudio. Los conteos vehiculares se realizaron por parte del personal de la UTGV de Buenos Aires utilizando el equipo de MetroCount, facilitado por el LanammeUCR, después de recibir la respectiva capacitación. Algunos aspectos que se deben considerar al realizar conteos de tránsito son:

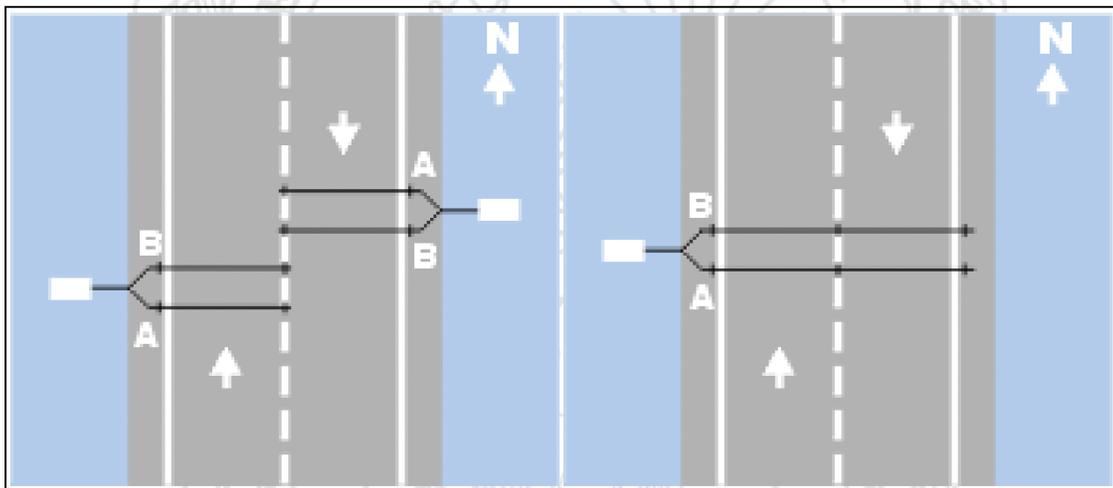
- Realizar los conteos durante periodos de tránsito normal, evitar vacaciones o feriados.
- Deben realizarse en días laborales (lunes a viernes). Preferiblemente martes, miércoles o jueves para evitar el efecto fin de semana.
- Realizar conteos de 25 horas, para tomar en cuenta ambos periodos de hora pico en los conteos, y facilitar el análisis para cálculos del TPDA (Tránsito promedio diaria anual).
- Escoger los sitios de mayor flujo vehicular de la calle o tramo a evaluar.

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



**Figura 4.** Cables y contadores automáticos en sitio.

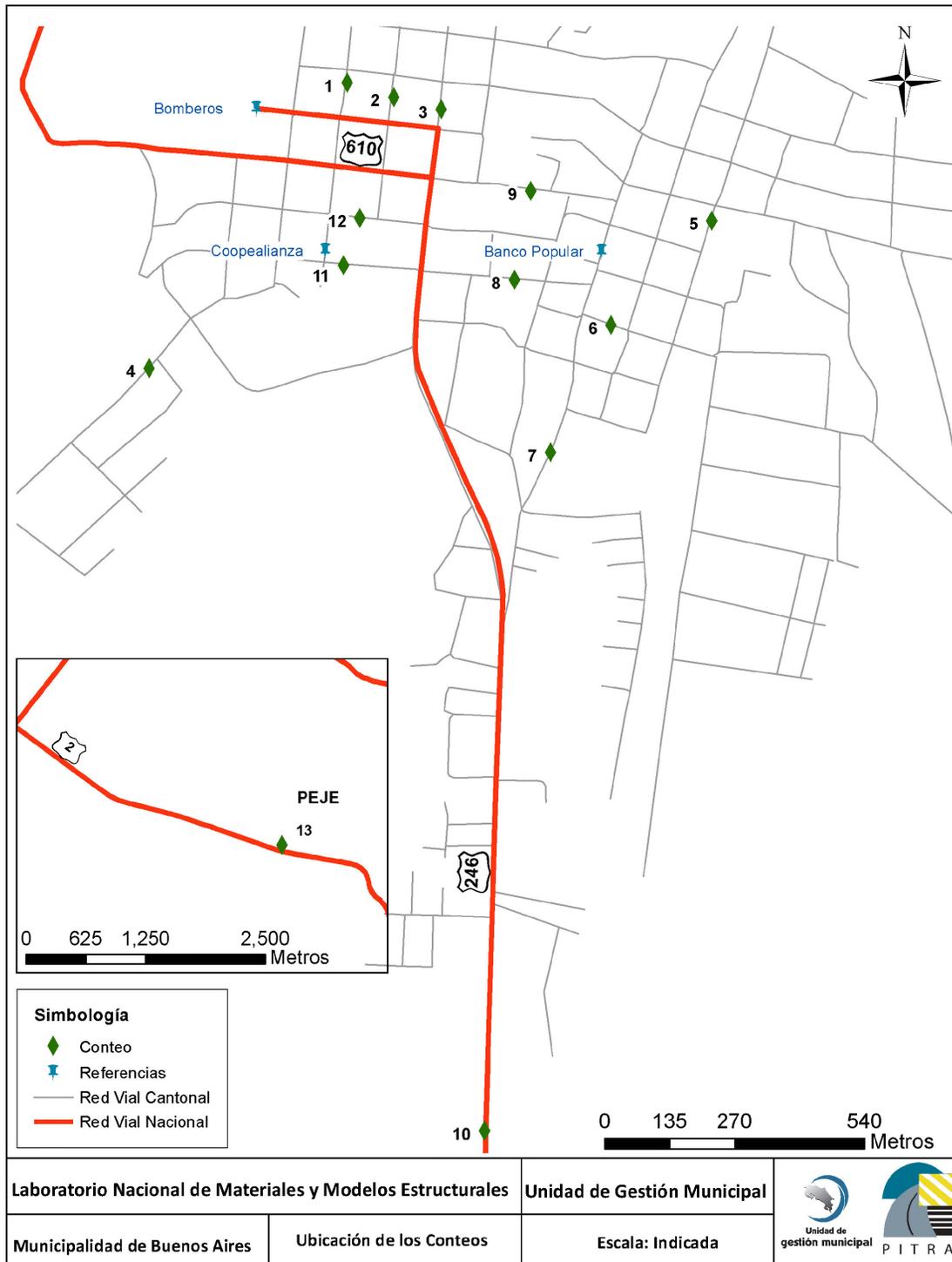
Fuente: LanammeUCR, 2008.



**Figura 5.** Configuración de los contadores.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

En la figura 5 el esquema de la izquierda muestra la configuración ideal, el de la derecha muestra una configuración más simple pero que resulta en pérdida de precisión. En la figura 6, se muestra la ubicación de los diferentes conteos realizados.

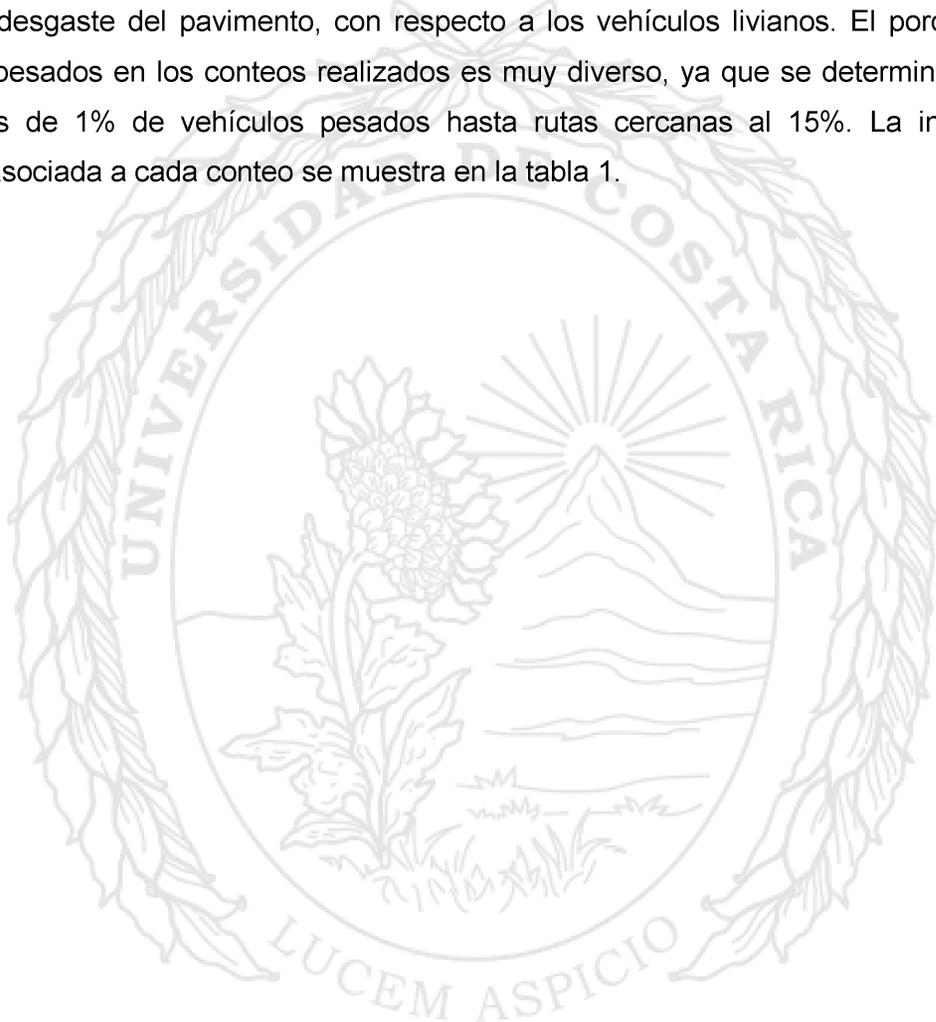


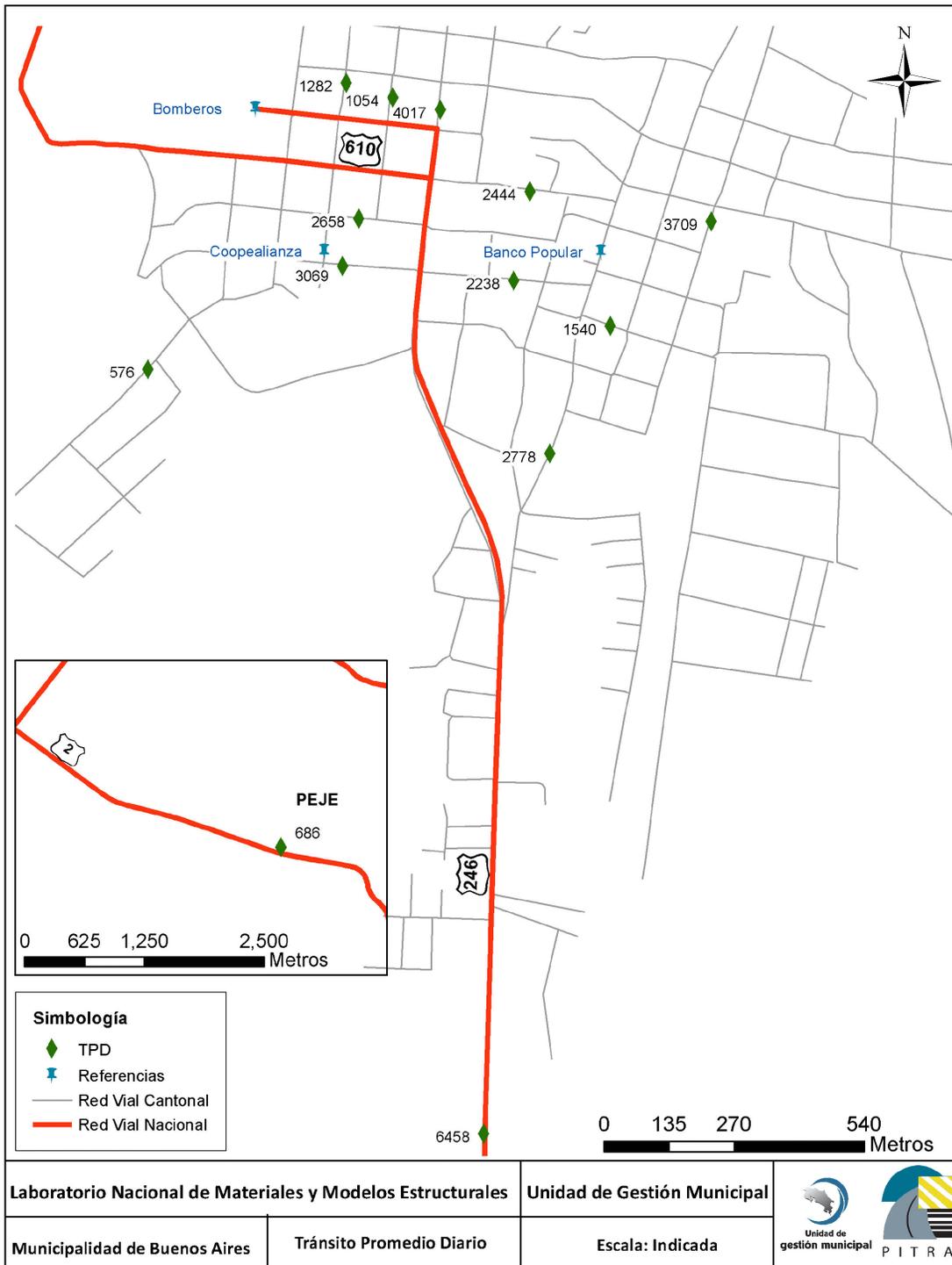
**Figura 6.** Sitios de conteo en el distrito central.  
(Información recopilada por UTGV Buenos Aires).



Las rutas analizadas respecto al tránsito diario presentan, en general, un bajo volumen vehicular con valores inferiores a los 4000 vehículos, exceptuando el conteo 3 en el cual se contabilizaron más de 4000 vehículos en un periodo de 24 horas. En la figura 7, se muestran los volúmenes vehiculares asociados a cada conteo y su ubicación en la red vial analizada.

Además de la cantidad de vehículos que circulan diariamente en las vías, es importante conocer la cantidad de vehículos pesados (ver tabla 1), pues este tipo de vehículos ejercen un mayor desgaste del pavimento, con respecto a los vehículos livianos. El porcentaje de vehículos pesados en los conteos realizados es muy diverso, ya que se determinaron rutas con menos de 1% de vehículos pesados hasta rutas cercanas al 15%. La información detallada asociada a cada conteo se muestra en la tabla 1.





**Figura 7.** Volumen vehicular diario en el distrito central.  
(Información recopilada por UTGV Buenos Aires).

En la tabla 1, se presenta una síntesis de los resultados obtenidos de los conteos vehiculares y de otros cálculos asociados a estos, como por ejemplo los ejes equivalentes (ESAL) para diferentes periodos de diseño.

**Tabla 1.**Detalle de los conteos realizados en el cantón de Buenos Aires.

Conteo	Ubicación	Volumen Vehicular 24 horas	ESAL 10 años	ESALs 15 años	ESAL 20 años
1	Plantel Municipal	1282	1.95E+05	3.25E+05	4.83E+05
2	Fuerza Pública	1054	4.29E+05	7.15E+05	1.06E+06
3	Salón Parroquial	4017	9.26E+05	1.54E+06	2.30E+06
4	Plantel Fred Altamirano	576	1.19E+05	1.99E+05	2.95E+05
5	Cancha MOPT	3709	6.28E+05	1.05E+06	1.56E+06
6	Super Mercado JM	1540	3.51E+05	5.85E+05	8.70E+05
7	Cas Andrea	2778	1.13E+06	1.88E+06	2.79E+06
8	Casa DR Oviedo	2238	4.95E+05	8.26E+05	1.23E+06
9	Casa MardeLuz	2444	2.91E+05	4.85E+05	7.21E+05
10	Ruta Nacional	6458	3.05E+06	5.08E+06	7.55E+06
11	CoopeAlianza	3069	7.12E+05	1.19E+06	1.76E+06
12	Costado Sur Escuela Rogelio	2658	1.16E+06	1.93E+06	2.87E+06
13	Peje Volcán	686	2.52E+05	4.21E+05	6.26E+05

### 3.2.3 Evaluar condición funcional

La condición funcional está relacionada con la capacidad de la vía para proporcionar servicio a los usuarios, considera regularidad superficial, deterioros y deformaciones en la superficie de ruedo; estos parámetros se puede evaluar de diferentes maneras, a continuación se presentan 3 de ellas.

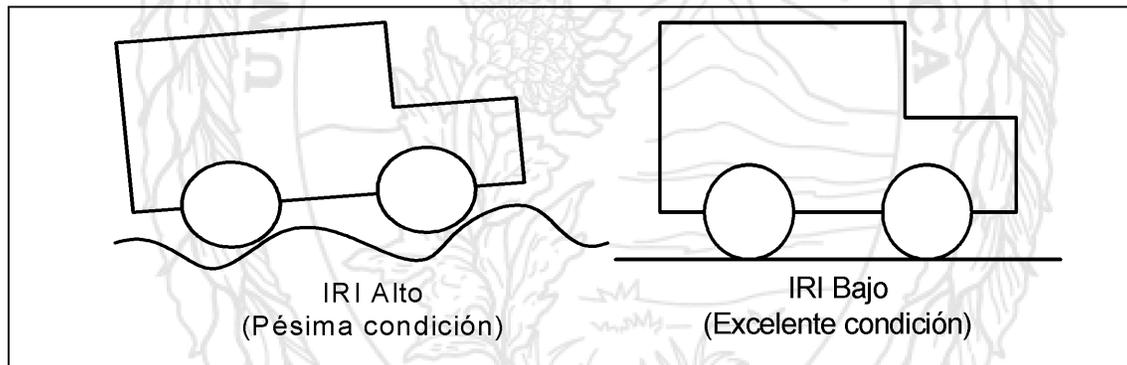
1. Deterioro Superficial (VIZIR).
2. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).
3. PCI (Manual de Auscultación Visual).

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

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

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

El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la regularidad de un camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h. El IRI aumenta conforme la rugosidad aumenta, como se representa en la figura 8.



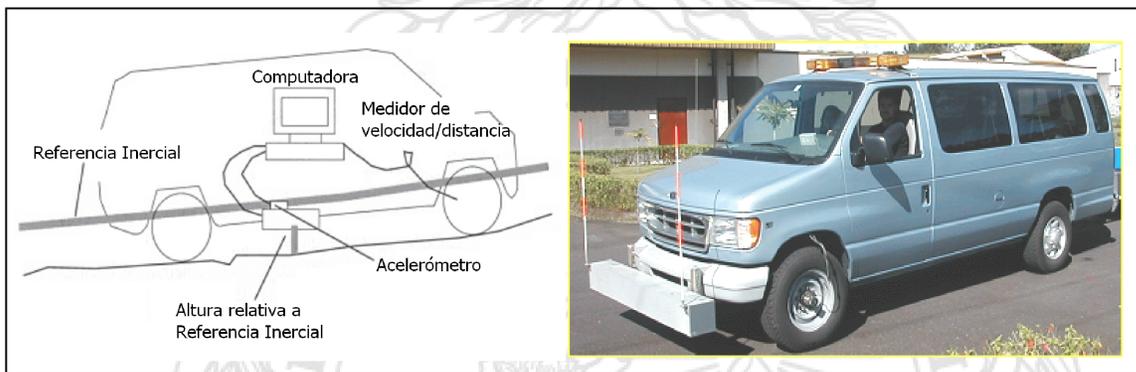
**Figura 8.** Representación física del Índice de Rugosidad Superficial.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

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

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

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



**Figura 9.** Perfilómetro Inercial Láser.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

El IRI se midió sobre la red vial pavimentada cada 25 metros, esta evaluación se realizó con el Perfilómetro Inercial Láser en el mes de Noviembre del 2012 abarcando todas las rutas contempladas en el convenio, sobre una longitud aproximada de 10 km; en la figura 10 se muestran los resultados de estas mediciones. Con el fin de clasificar la RVC en función de IRI se utiliza la siguiente simbología: “Bueno”, IRI menor a 3,6 m/km; “Regular”, IRI entre 3,6 m/km y 6,4 m/km; “Malo”, IRI entre 6,4 m/km y 10 m/km; “Muy malo”, IRI mayor a 10 m/km.

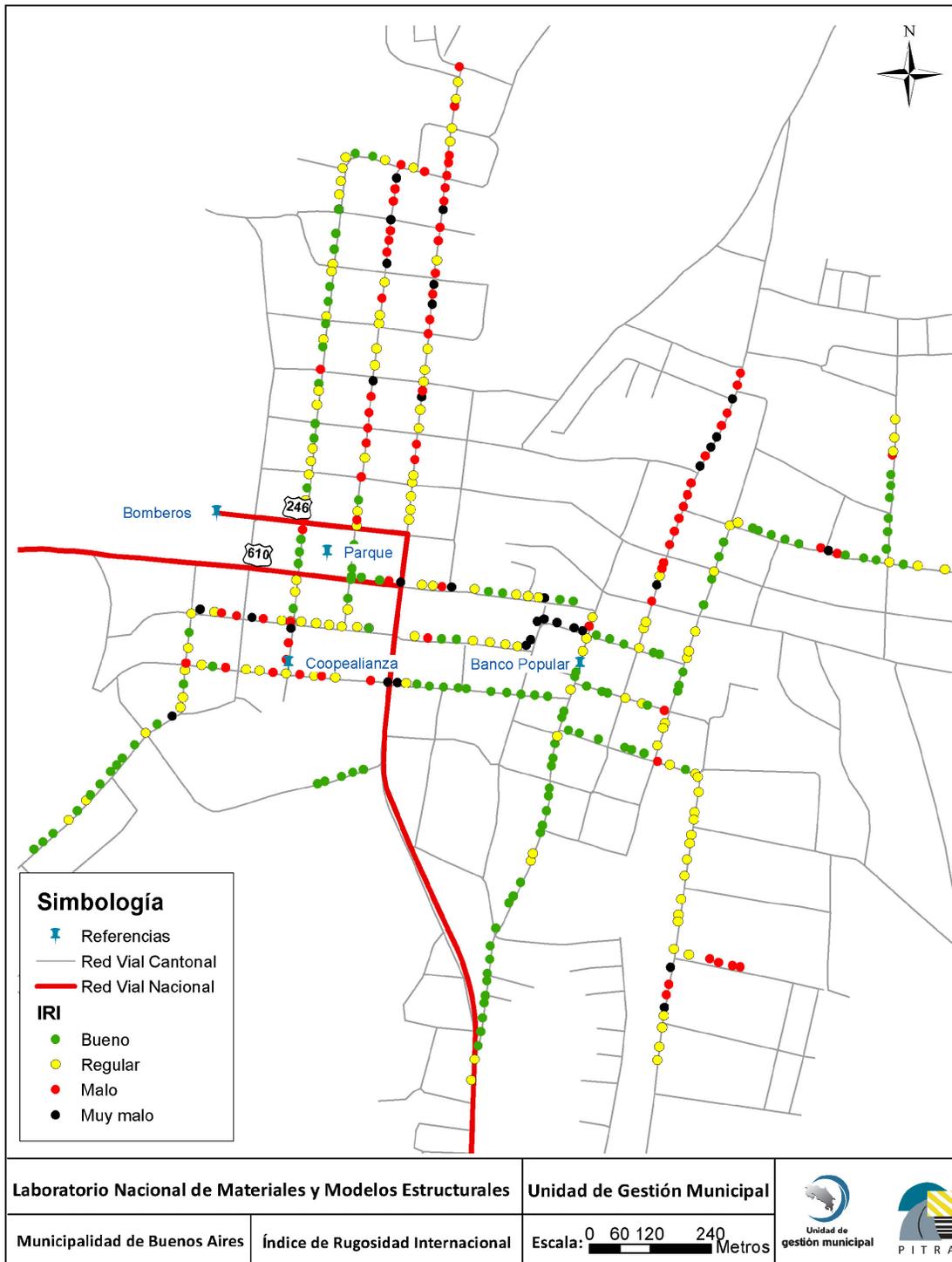
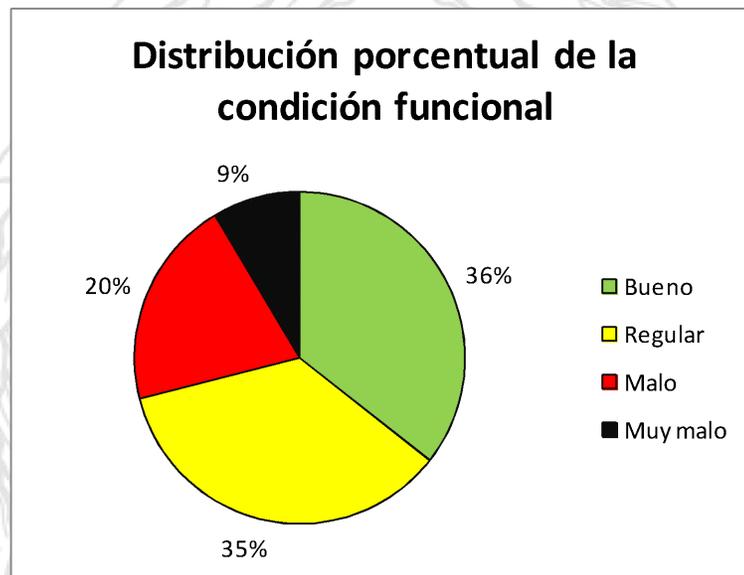


Figura 10. Condición del IRI para las mediciones realizadas en Buenos Aires.

En la figura 11, se observan los porcentajes asociados a cada condición, según las mediciones de IRI en la localidad de Buenos Aires.

En las mediciones realizadas, un 29% presenta valores de IRI superior a 6,4 m/km, lo cual indica que es una superficie de ruedo con bajo nivel de confort y con altos gastos de operación para los vehículos que la transitan. Además, un 36% de las mediciones realizadas se pueden clasificar en condiciones buenas de regularidad superficial (menores a 3,6 m/km) mientras que un 35% de las mediciones corresponden a una condición regular (ver figura 11).



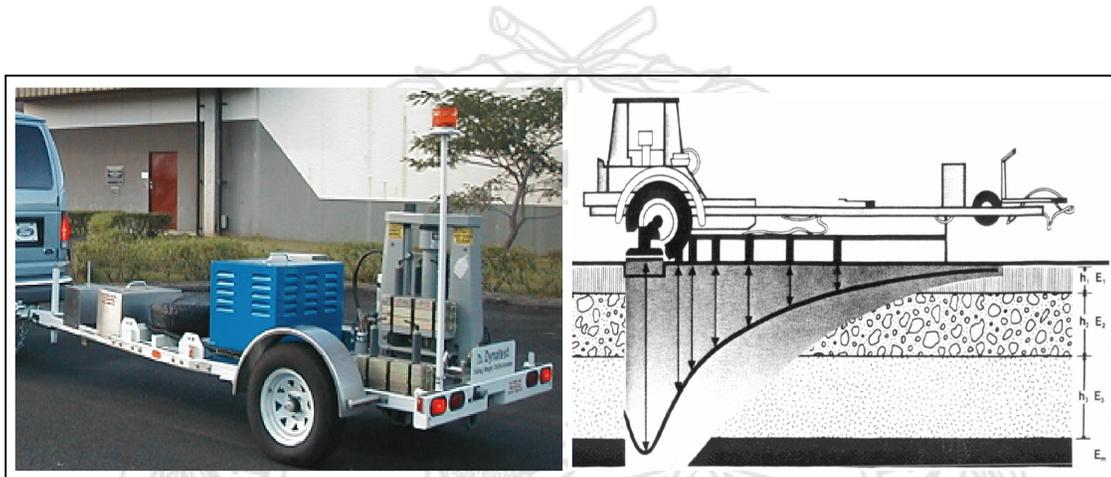
**Figura 11.** Distribución porcentual de la condición funcional según el IRI.

Fuente: LanammeUCR, 2013.

### 3.2.4 Evaluar condición estructural

En ésta sección se mencionan los procedimientos necesarios para determinar la capacidad estructural de un pavimento. La misma está directamente relacionada con la respuesta ante las cargas a las que se expone el pavimento (paso de los vehículos); pues menores deflexiones implican mayor capacidad del pavimento ante las cargas.

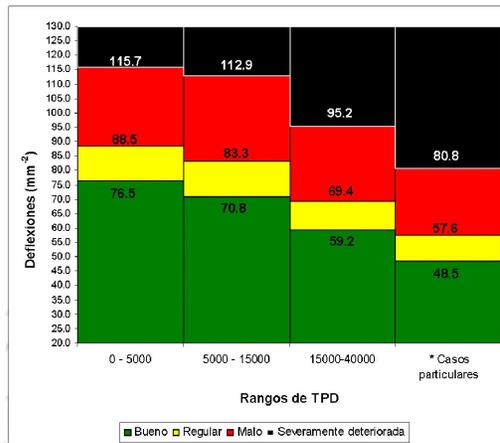
Las mediciones se realizaron con el equipo Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés), y se tomaron mediciones cada 50 metros durante el mes de Noviembre del 2012. El procedimiento consiste en dejar caer una carga de impacto estándar sobre el pavimento y medir las deflexiones en nueve puntos, con diferentes distancias con respecto al punto donde se aplicó la carga. A continuación, se muestran dos imágenes con el equipo de medición y el modo en que se registran las deflexiones que se registran.



**Figura 12.**Equipo de deflectometría de impacto.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

La clasificación utilizada para categorizar los resultados obtenidos de deflectometría son tomados a partir de un estudio realizado por LanammeUCR, en el cual se determinaron rangos para las diferentes deflexiones asociadas a distintas categorías de TPD y dependientes del tipo de base (granular o estabilizada con cemento) que compone la estructura del pavimento. En la figura 13, se presentan los rangos de deflectometría obtenidos para una estructura de pavimento con base granular.



**Figura 13.** Clasificación de los valores de deflectometría con diferentes TPD.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

En la figura 14, es posible observar la ubicación de las mediciones realizadas en Buenos Aires. En términos generales las mediciones de la capacidad estructural en se encuentran dentro de la categoría de “bueno”, esto indica que la capacidad actual es aceptable para el flujo vehicular medido; es importante mencionar que existen mediciones aisladas con deflexiones altas, por lo que es recomendable revisar estos puntos con mayor detalle.

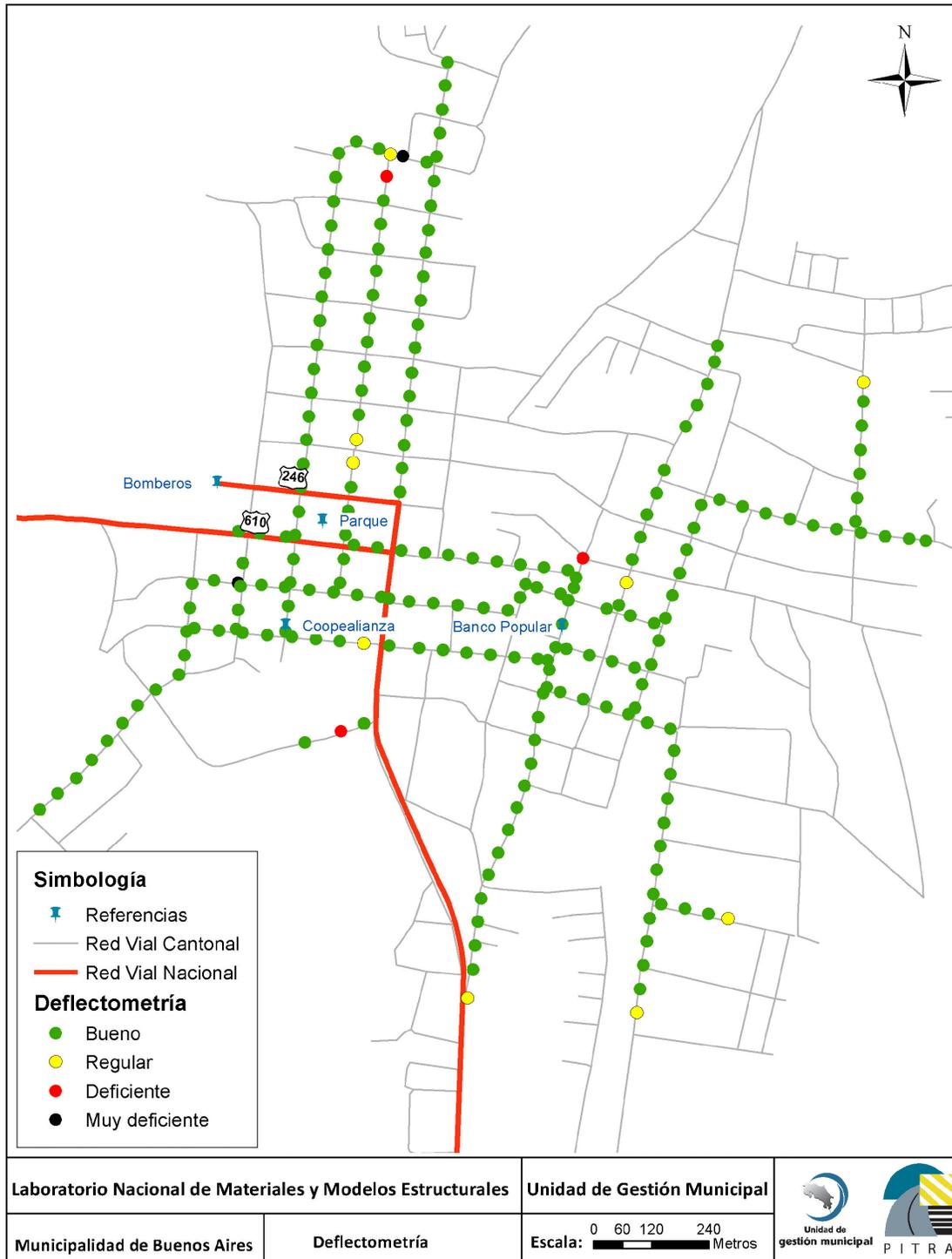
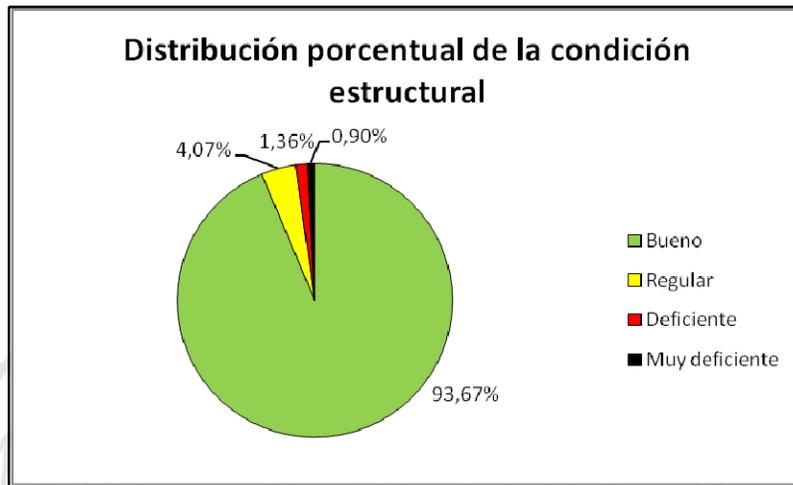


Figura 14. Condición estructural para las mediciones realizadas en Buenos Aires.

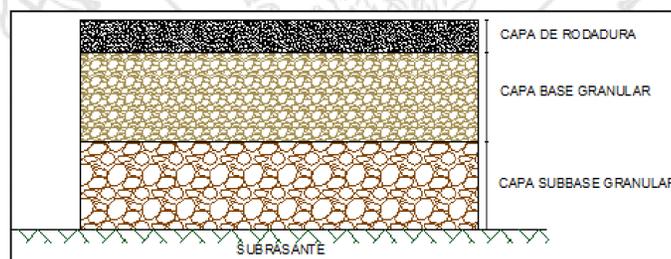
El detalle de la distribución porcentual de las mediciones se puede observar en la figura 15; como se mencionó anteriormente, una cantidad muy baja de mediciones poseen valores en las categorías de deficiente y muy deficiente, porcentualmente sólo el 2,2% de las mediciones se ubican en estas categorías. Un 94% de las mediciones presentan una buena capacidad estructural, dado que presentan bajas deflexiones.



**Figura 15.** Distribución porcentual de la condición según FWD para las mediciones realizadas.

### 3.2.5 Caracterizar la estructura del pavimento

En esta sección se realiza un análisis de la estructura y el tipo materiales que componen el pavimento. La figura 16, muestra un ejemplo de la estructura de un pavimento común en Costa Rica, que está compuesta por: superficie de ruedo, base granular, subbase granular y subrasante.



**Figura 16.** Ejemplo de estructura de pavimento.



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

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

Los ensayos de laboratorio para caracterizar la subrasante se realizaron a las 12 muestras recolectadas en campo, los cuales consisten en: límites de Atterberg y granulometría por la vía seca y húmeda.

#### 3.2.5.1 Estructura del pavimento

Se realizan excavaciones para determinar el tipo de capas que componen el pavimento (carpeta, base, sub-base, sub-rasante, entre otras), así como los espesores de estos.

Las excavaciones se realizan en puntos estratégicos tomando en cuenta la clasificación de las vías del cantón y la deflectometría, considerando además las vías principales de la RVC. En la figura 17, se puede observar la ubicación de los sondeos realizados en campo, así como la numeración asignada.

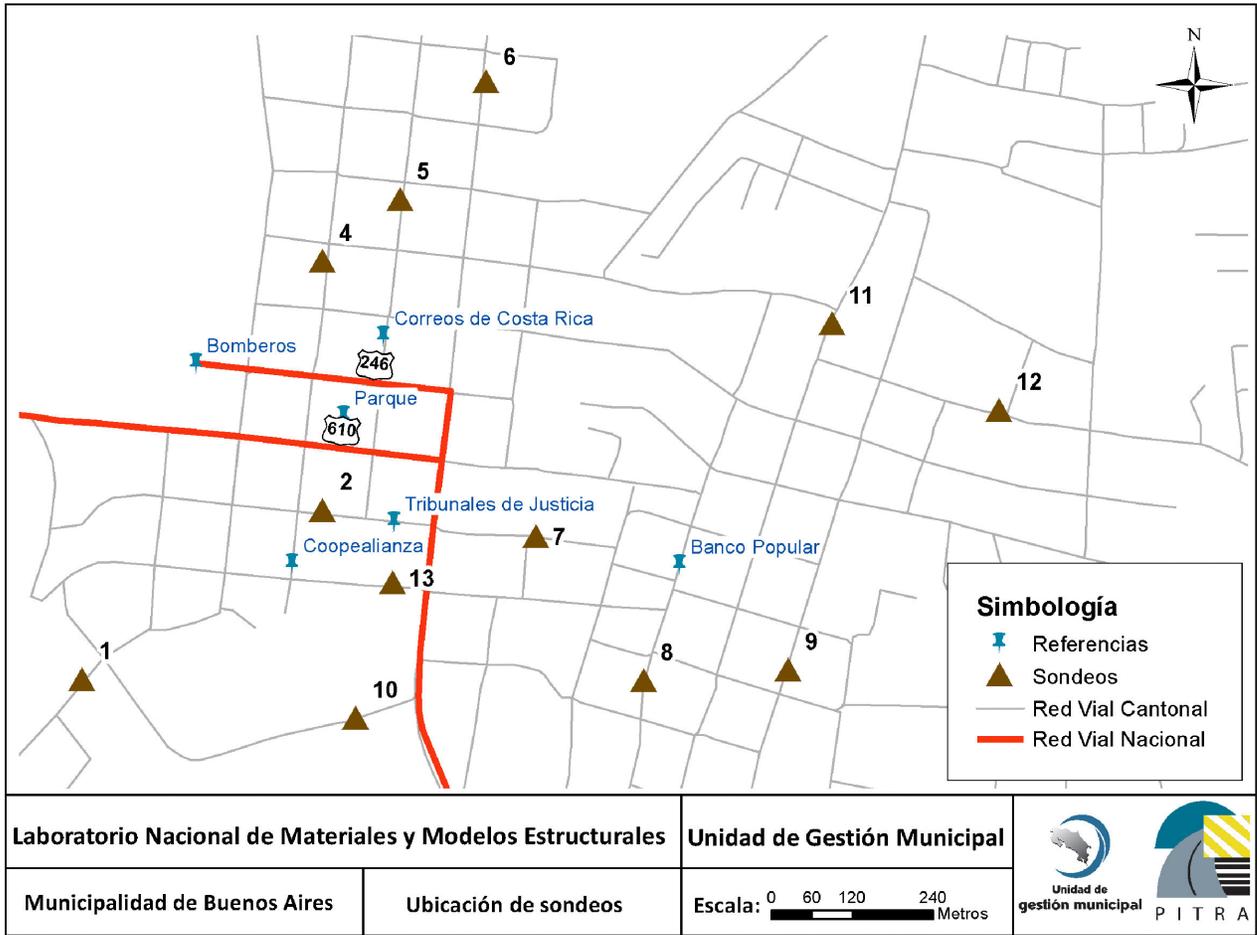


Figura 17. Ubicación de los sondeos realizados en Buenos Aires.

En la tabla 2, puede observarse el detalle de las diferentes capas que componen cada estructura de pavimento, es importante destacar que en su mayoría la superficie de ruedo está compuesta por tratamientos superficiales y diferentes capas granulares.

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

Sondeo	CA (cm)	Otro (cm)	BE (cm)	BG (cm)	SB (cm)
1	0.0	2.5	0	15.0	20.0
2	7.5	0.0	0	21.0	28.0
3	0.0	0.0	0	0.0	0.0
4	0.0	2.5	0	0.0	46.0
5	0.0	4.0	0	0.0	30.0
6	3.5	0.0	0	0.0	30.0
7	0.0	2.0	0	34.0	0.0
8	0.0	3.0	0	22.0	18.0
9	0.0	3.0	0	15.0	15.0
10	0.0	2.0	0	0.0	40.0
11	0.0	2.5	0	0.0	15.0
12	0.0	2.5	0	38.0	33.0
13	0.0	2.0	0	0.0	25.0

### 3.2.5.2 Caracterización de la sub-rasante

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 incluyen: granulometría, límites de Atterberg y gravedad específica.

El objetivo es caracterizar la sub-rasante que compone la estructura del pavimento en mayor detalle, es con el fin de poder tomar decisiones a futuro sobre las intervenciones a nivel de proyecto en los diferentes tramos de la red vial cantonal.

#### Clasificación SUCS

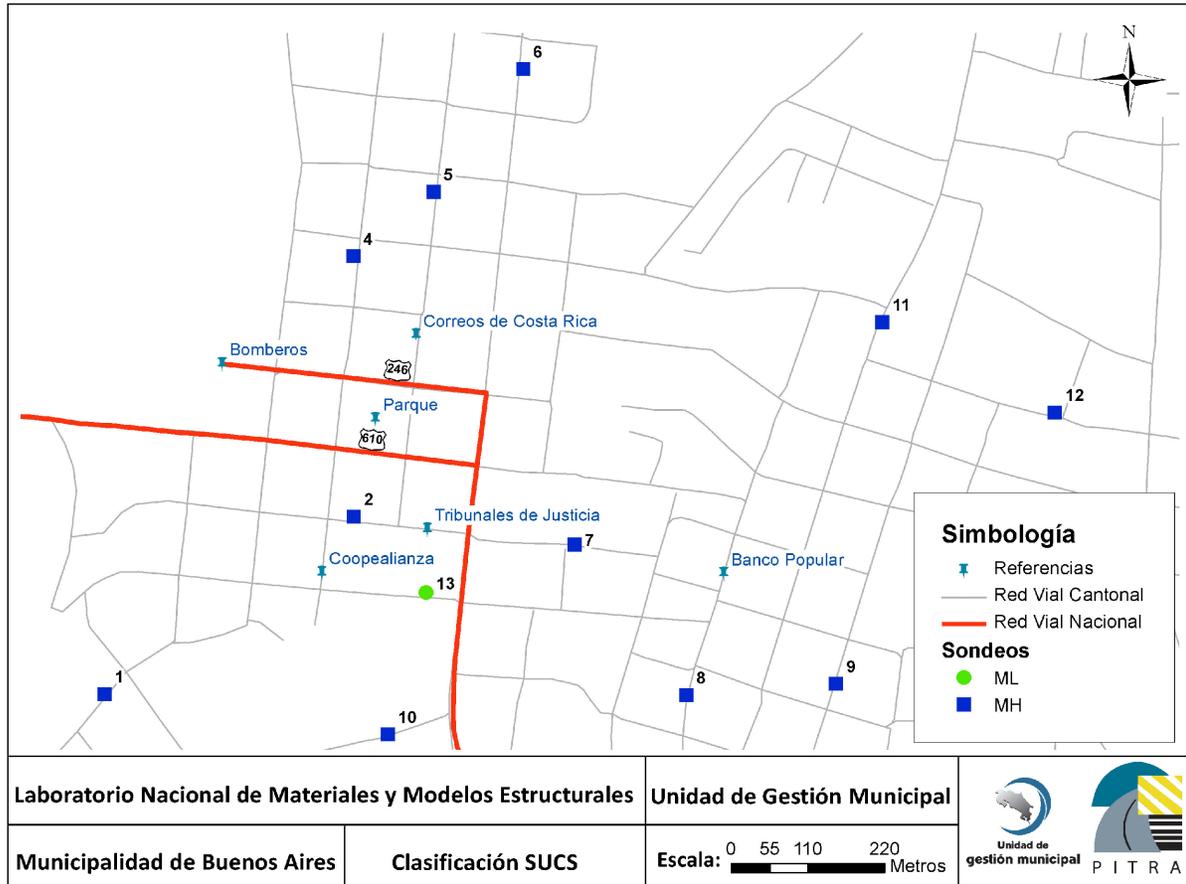
A partir de los datos generados en el laboratorio, referentes a la granulometría y a los límites de consistencia, se clasificó la sub-rasante según el sistema de clasificación del SUCS. A continuación, se presenta la simbología utilizada y la descripción general de cada uno de los grupos de suelos que se encontraron en el cantón de Buenos Aires, según el Instituto Colombiano de Geología y Minería (2004):

- CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad media a baja, arcillas con gravas, arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.
- SM: Arenas limosas, mezclas de arena mal graduada y limo.
- MH: Limo inorgánico, limo micáceos o diatomáceos, limos elásticos.

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



**Figura 18.** Distribución porcentual de las muestras de subrasante estudiadas en el cantón de Buenos Aires, clasificación SUCS.



**Figura 19.** Tipo de suelo según la clasificación SUCS en la localidad de Buenos Aires.

Clasificación AASHTO

Se realizó la clasificación del suelo según la metodología AASHTO, la cual analiza el suelo como material para carreteras. La descripción general del tipo de suelo, según esta clasificación, es tomada de las normas técnicas utilizadas para realizar ensayos de laboratorio en la Escuela de Ingeniería Civil de La Universidad Nacional de Colombia.

Materiales granulares: Contienen 35% o menos de material que pase el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200).

- Grupo A-1: El material típico de este grupo es una mezcla bien gradada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina, y un ligante de suelo no plástico o de baja plasticidad. Sin embargo, este grupo incluye también fragmentos de roca, grava, arena gruesa, cenizas volcánicas, etc., sin un ligante de suelo.
  - Subgrupo A-1-a: Incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de fragmentos de roca o grava con o sin un ligante bien gradado de material fino.
  - Subgrupo A-1-b: Incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de arena gruesa con o sin un ligante de suelo bien gradado.
- Grupo A-3: El material típico de este grupo es la arena fina de playa o la arena fina de desierto, sin finos de arcilla, limo o con una pequeña cantidad de limo no plástico. Este grupo también incluye las mezclas aluviales de arena fina mal gradada con pequeñas cantidades de arena gruesa y grava.
- Grupo A-2: Este grupo incluye una amplia variedad de materiales granulares, que se encuentran en el límite entre los materiales que se clasifican en los grupos A-1 y A-3, y los materiales tipo limo y arcilla que se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Incluye todos los materiales que contienen 35% o menos de material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200) que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 o A-3, debido al contenido de finos o a los índices de plasticidad, o ambos, por encima de las limitaciones de estos grupos.
  - Los subgrupos A-2-4 y A-2-5 incluyen varios materiales granulares que contienen 35% o menos de material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200) y con una porción que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (#40) que tiene las características de los grupos A-4 y A-5, respectivamente. Estos grupos comprenden materiales tales como grava y arena gruesa con contenidos de limo e IP por encima de las limitaciones del grupo A-1, y arena fina con un contenido de limo no plástico por encima de las limitaciones del grupo A-3.



- Los subgrupos A-2-6 y A-2-7 incluyen materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5 excepto en que la porción fina contiene arcilla plástica que tiene las características de los grupos A-6 y A-7, respectivamente.

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

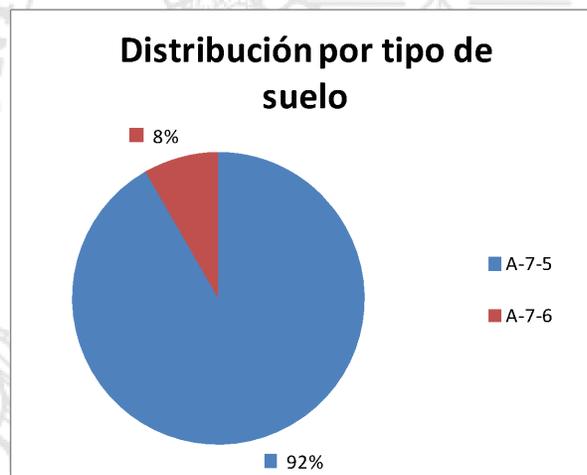
- Grupo A-4: El material típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene el 75% o más de material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200). Este grupo también incluye mezclas de suelo limoso fino y hasta 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200).
- Grupo A-5: El material típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que usualmente tiene un carácter diatomáceo o micáceo y puede ser muy elástico, como lo indica su alto LL.
- Grupo A-6: El material típico de este grupo es una arcilla plástica que usualmente tiene el 75% o más del material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200). Este grupo también incluye mezclas de suelo arcilloso y hasta el 64% de arena y grava retenida sobre el tamiz #200. Los materiales de este grupo normalmente presentan grandes cambios de volúmenes entre los estados seco y húmedo.
- Grupo A-7: El material típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene el LL elevado, característico del grupo A-5, y puede presentar elasticidad o alto potencial de expansión.
  - Subgrupo A-7-5: Incluye materiales con IP moderados en relación con el LL y que pueden presentar un alto potencial de expansión.
  - Subgrupo A-7-6: Incluyen materiales con un alto IP en relación con el LL y presentan un alto potencial de expansión.

Suelos orgánicos: como su nombre lo dice, son suelos orgánicos, incluida la turba, que pueden clasificarse en el grupo A8. La clasificación de estos materiales se basa en la inspección visual y no depende del porcentaje que pasa por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (#200), el LI y

el IP. El material se compone en especial de materia orgánica parcialmente descompuesta; por lo general, tiene una textura fibrosa, un color negro o pardo oscuro y olor a descomposición. Estos materiales orgánicos son inadecuados para su utilización en terraplenes y sub-rasantes. Tales materiales son altamente compresibles y tienen una baja resistencia al corte.

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

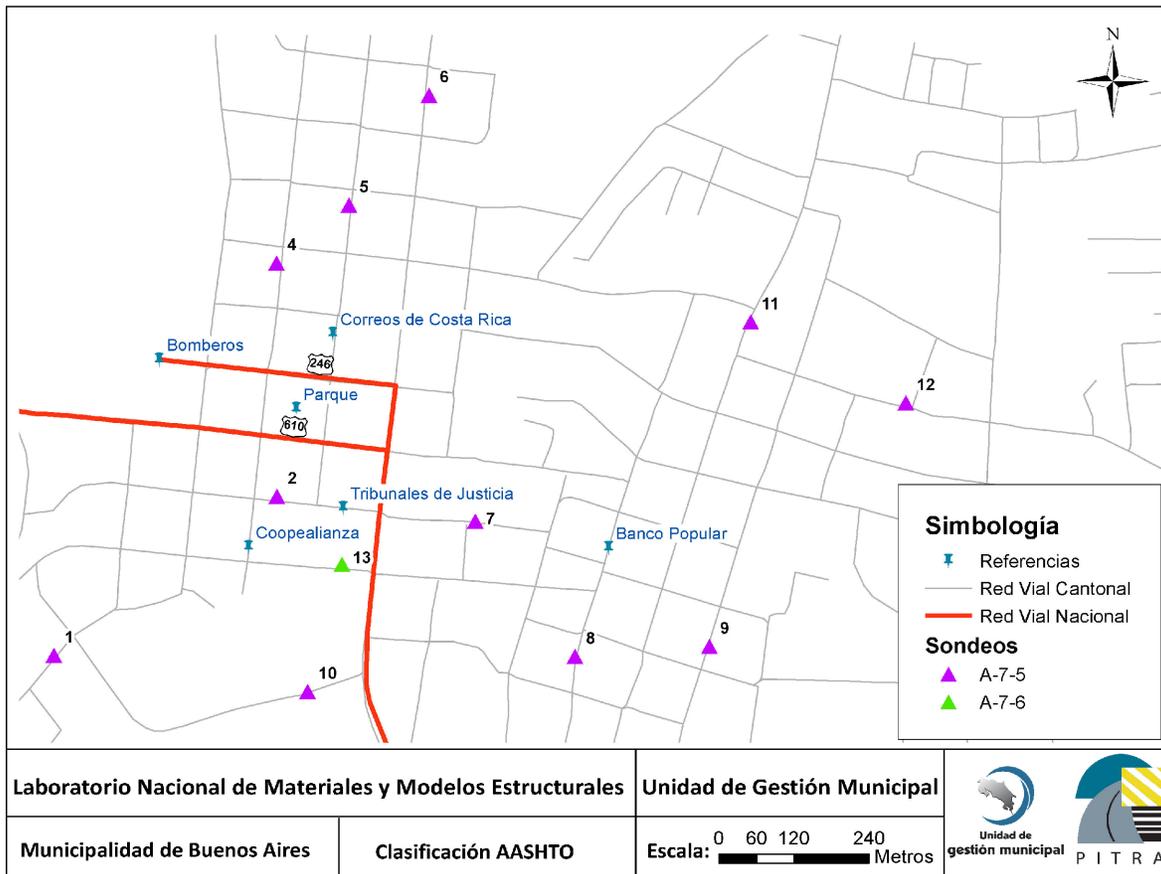
En la siguiente figura, se puede observar la distribución porcentual según el tipo de suelo basado en la clasificación AASHTO. Se observa que al igual que en la clasificación SUCS predominan los suelos finos (limosos o arcillosos).



**Figura 20.** Distribución porcentual de las muestras de subrasante estudiadas en el cantón de Buenos Aires, clasificación AASHTO.

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

En la siguiente figura, puede observarse la distribución de los suelos, según la clasificación por AASHTO.



**Figura 21.** Tipo de suelo según la clasificación AASHTO en la localidad de Buenos Aires.

### 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 22.** Prueba de CBR en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2008.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para CBR y los sitios donde se realizó el ensayo. El CBR obtenido es una medida indirecta adquirida a partir del penetrómetro, el cual registra la resistencia a la penetración, también llamado, índice del cono (CI) en unidades (psi) libras por pulgada cuadrada. El valor de CBR se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$CBR = a * (CI)^b$$

Donde:

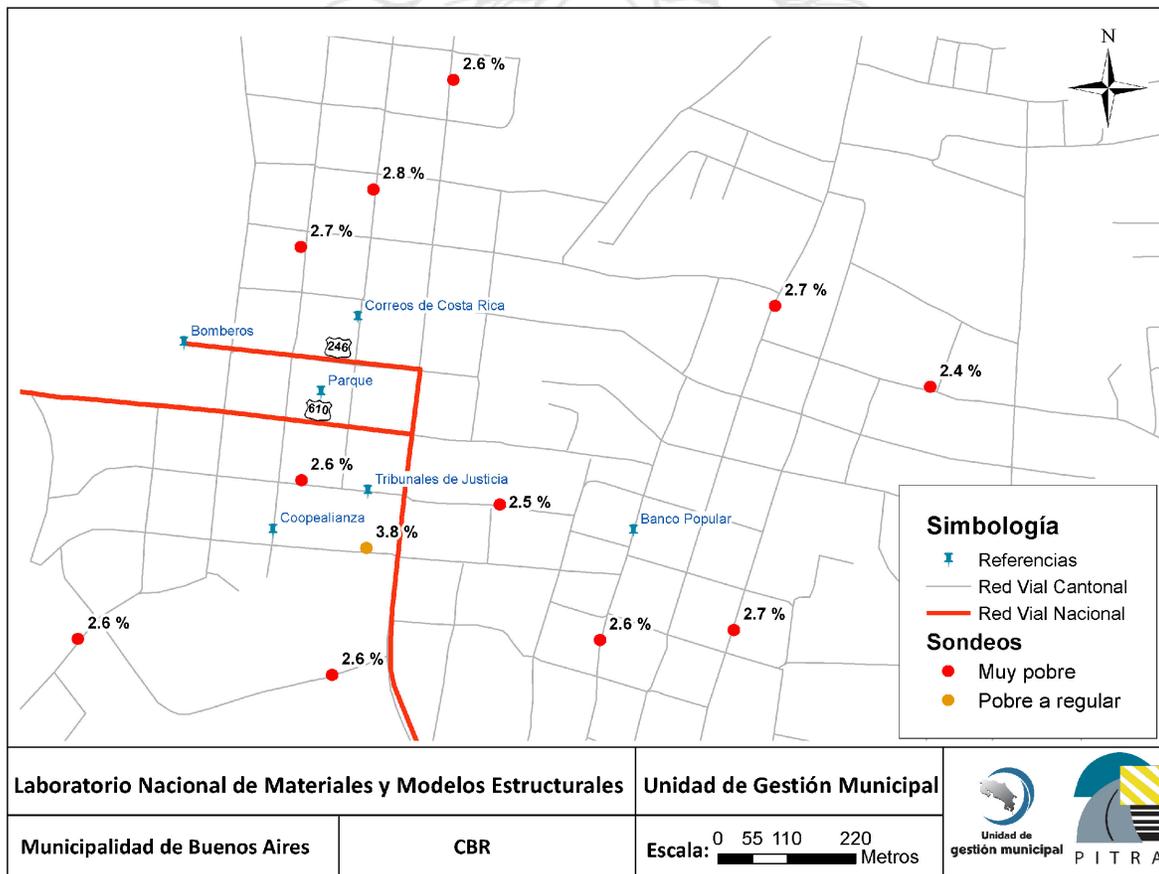
- a y b son coeficientes asociados al tipo de suelo según la clasificación SUCS.
- CI es el índice del cono.

La clasificación utilizada para categorizar los valores de CBR fue establecida por J. Bowles (1981), la cual se presenta en el tabla 3. En la figura 23, puede observarse el CBR obtenido para los sondeos realizados, agrupados según la clasificación propuesta por Bowles.

**Tabla 3.** Clasificación del CBR.

CBR	Clasificación	Usos
0%-3%	Muy Pobre	Subrasante
3%-7%	Pobre a Regular	Subrasante
7%-20%	Regular	Sub-base
20%-50%	Bueno	Base-Sub-base
Mayor a 50%	Excelente	Base

Fuente: Bowles, J. 1981.



**Figura 23.** Clasificación de la subrasante según el CBR, localidad de Buenas Aires.

La subrasantes ensayadas en el cantón de Buenos Aires presentaron en su totalidad un CBR menor a 4%, lo cual indica que son suelos con una resistencia muy pobre; incluso se puede observar que en su gran mayoría corresponden a suelos con CBR menores al 3%. Estos resultados coinciden con la clasificación de la AASHTO, donde se identificaron suelos dentro de las categorías A-7-5 y A-7-6, que son los peores suelos para uso en carreteras; sin embargo, por la formación geológica de Costa Rica son los suelos predominantes en el país; en la siguiente tabla se detalla los valores obtenidos en los sitios de sondeo.

**Tabla4.** Índice de resistencia CBR en sitio, para los sondeos realizados.

Sondeo	Cl	a	b	CBR
1	125.0	0.0820	0.7174	2.62
2	121.9	0.0820	0.7174	2.57
3	0.0	0.0000	0.0000	0.00
4	127.8	0.0820	0.7174	2.66
5	136.7	0.0820	0.7174	2.79
6	127.0	0.0820	0.7174	2.65
7	120.0	0.0820	0.7174	2.54
8	126.3	0.0820	0.7174	2.64
9	127.1	0.0820	0.7174	2.65
10	124.6	0.0820	0.7174	2.61
11	129.1	0.0820	0.7174	2.68
12	112.0	0.0820	0.7174	2.42
13	118.2	0.1111	0.7390	3.78

Fuente: LanammeUCR, 2013.

### 3.2.6 Definir tramos homogéneos

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

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



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

El producto final será un informe y una serie de mapas con la identificación de tramos homogéneos de la RVC, así como las generalidades de cómo se determinan los respectivos tramos homogéneos. Además, se detallarán los parámetros que caracterizan cada tramo homogéneo, considerando tránsito (TPD), deflectometría promedio, IRI promedio, nota de calidad, y posibles tipos de intervención a nivel de red. Para esto se toma como insumo los resultados obtenidos en el presente documento.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

En las rutas municipales evaluadas se detectaron flujos vehiculares bajos, en su mayoría con flujos menores a 5000 vehículos diarios en las rutas seleccionadas; se detectó variabilidad importante en la cantidad de vehículos pesados, aunque estos tienden a representar valores bajos.

La condición superficial de las rutas evaluadas es muy variada, la categoría de "buena" la que más datos acumula con un 36% de las mediciones y la categoría de "muy malo" la que menos datos acumula con un 9% de las mediciones. En la categoría "regular", se encuentra el 35% de las mediciones realizadas y en la categoría de "malo" un 20%. Estos datos reflejan que la mayoría de las mediciones realizadas son características de pavimentos con una superficie de ruedo aceptable a las velocidades de operación en la red vial cantonal (inferior a 50km/h).

En cuanto a la estructura del pavimento, se caracteriza por tener espesores de superficie de ruedo inferiores a 3 cm, acordes con espesores de tratamientos superficiales. El material de base característico es granular, y las estructuras se componen de distinta manera, ya sea: únicamente material de base (1 muestra), solamente material de sub-base (6 muestras) o ambas (5 muestras).

Informe LM-PI-GM-13-13	Fecha de emisión: Febrero de 2013	Página 40 de 43
------------------------	-----------------------------------	-----------------



El tipo de subrasante que más se encontró, según la clasificación SUCS, fue el de los limos de alta plasticidad (MH) y en uno de los sondeos fue un limo de baja plasticidad (ML). Si se considera la clasificación de suelos según AASHTO la gran cantidad de subrasantes son suelos particularmente finos como limos o arcillas identificados en las categorías A-7-5 y A-7-6, que corresponde a suelos muy deficientes para su uso en carreteras, aunque esta es la condición predominante en Costa Rica.

Los resultados relacionados con el CBR en sitio del material de subrasante en diferentes estructuras, indican que estos suelos poseen baja resistencia, se identificó que el 90% de las subrasantes poseen un valor inferior al 3%, lo cual es un valor muy bajo, acorde con los resultados del tipo de suelo por SUCS y AASHTO realizado, a pesar de esto la capacidad estructural en las rutas evaluadas es buena.

#### 4.2 Recomendaciones

Realizar la clasificación de la red vial cantonal en las rutas fuera de la evaluación, tomando en cuenta flujos vehiculares e importancia de las diferentes rutas, con el fin definir las rutas cantonales, secundarias y terciarias, ya que este tipo de información puede ser utilizada por el municipio al definir las políticas de inversión en la red en un futuro cercano.

Actualizar de forma periódica los conteos, ya que estos actualmente son bajos y podrían darse cambios importantes a corto plazo. Además, realizar algunos conteos semanales para tener un panorama más amplio del comportamiento en el flujo vehicular de la zona según el día de la semana.

-----UL-----



## 5 REFERENCIAS

- Autret P, Brousse J. (1996). VIZIR Método con ayuda de computador para la estimación de necesidades en el mantenimiento de una red carretera; Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
- 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 La Unión, Heredia. Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica – San José, Costa Rica. Febrero, 2009.
- Orozco Santoyo R. V. Evaluación de Pavimentos con Métodos no Destructivos. Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 2005.
- Proyecto N° UI-PC-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.



- Wave; Department of Transportation of New Brunswick. (2005). Appendix Document, Asset Management Business Framework, New Brunswick Department of Transportation.

