



**Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional**

**Informe de Evaluación del Proyecto San José  
-Caldera Ruta Nacional 27  
Año 2010**

**Diciembre 2010**

## Índice de Contenidos

<b>1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES</b> -----	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVOS DE LA CAMPAÑA DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN CONCESIÓN SAN JOSÉ – CALDERA, AÑO 2010</b> --	<b>10</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL-----	10
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS, CRITERIOS DE CALIFICACIÓN Y PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.</b> -----	<b>10</b>
3.1 CAPACIDAD FUNCIONAL DEL PROYECTO (IRI). DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.-----	10
<b>3.1a. Criterios de clasificación</b> -----	12
<b>3.1b. Procedimiento de medición</b> -----	15
3.2 CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PROYECTO (FWD). DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.-----	16
<b>3.2a. Criterios de clasificación</b> -----	18
<b>3.2b. Procedimiento de medición</b> -----	21
3.3 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (GRIP NUMBER). DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.-----	22
<b>3.3a. Criterios de clasificación</b> -----	23
<b>3.3b. Procedimiento de medición</b> -----	24
3.4 ANÁLISIS DE DETERIOROS SUPERFICIALES MEDIANTE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN GEORREFERENCIADAS Y EQUIPO LÁSER PARA MEDIR EL AHUELLAMIENTO. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.-----	24
<b>3.4a. Criterios de clasificación</b> -----	26
<b>ADICIONALMENTE SE VERIFICÓ CON ESTE EQUIPO EL CUMPLIMIENTO DE LOS SIGUIENTES CRITERIOS, PROVENIENTES DEL CONTRATO DE CONCESIÓN DE OBRA PÚBLICA CON SERVICIO PÚBLICO, “PROYECTO CARRETERA SAN JOSÉ - CALDERA”:</b> -----	<b>26</b>
<b>3.4b. Procedimiento de medición</b> -----	26
3.5 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE PUENTES SEGÚN EL MÉTODO DE RMS INC.-----	26
<b>4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA, RUTA 27, AÑO 2010</b> -----	<b>31</b>
4.1 CAPACIDAD ESTRUCTURAL. DEFLEXIONES DEL PROYECTO OBTENIDAS MEDIANTE FWD-----	31
4.1a. <i>Criterios de clasificación</i> -----	31
4.1b. <i>Resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría FWD. Mediciones realizadas en el sentido San José – Caldera. Mese de junio y julio 2010.</i> -----	32
4.1c. <i>Resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría FWD. Mediciones realizadas en el sentido Caldera – San José. Mese de junio y julio 2010.</i> -----	33
4.1d. <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría FWD. Mese de junio y julio 2010.</i> -----	34
4.2 MAPAS CON LOS RESULTADOS DE MEDICIONES DE LA DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO-----	34
4.3 CONDICIÓN DEL PROYECTO SEGÚN REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI)-----	41
4.3a. <i>Criterios de clasificación</i> -----	41
4.3b. <i>Comparación de resultados de regularidad superficial (IRI). Sentido San José – Caldera</i> -----	42
4.3c. <i>Comparación de resultados de regularidad superficial (IRI). Sentido Caldera - San José</i> -----	43
4.5 ANÁLISIS GENERAL DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FUNCIONAL CON EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (IRI). MESES DE JULIO Y OCTUBRE 2010.-----	44
4.6 MAPAS CON LOS RESULTADOS DE MEDICIONES DEL PERFIL LONGITUDINAL (IRI)-----	45
4.7 CONDICIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA SEGÚN COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE PAVIMENTOS (GRIP). ENSAYOS REALIZADOS EN JULIO 2010.-----	52
4.7a. <i>Criterios de clasificación</i> -----	52
4.7b. <i>Resultados de coeficiente de rozamiento con el ensayo de GRIP</i> -----	52
4.8 ANÁLISIS GENERAL DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO. MES DE JULIO 2010.-----	56
4.9 MAPAS CON LOS RESULTADOS DE MEDICIONES RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (GRIP-NUMBER)-----	56
4.10 ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PROYECTO. PRESENCIA, SEVERIDAD Y EXTENSIÓN DE DETERIOROS SEGÚN ANÁLISIS VISUAL POR MEDIO DE EQUIPOS DE IMÁGENES GEORREFERENCIADAS. EVALUACIONES REALIZADAS EN OCTUBRE – NOVIEMBRE 2010.-----	63

4.10a.	<i>Criterios de clasificación</i>	63
4.10b.	<i>Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales</i>	63
4.11	ANÁLISIS GENERAL DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN VISUAL. MESES DE OCTUBRE – NOVIEMBRE 2010.	65
4.12	<i>SUSCEPTIBILIDAD SÍSMICA DE LOS PRINCIPALES PUENTES DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA. EVALUACIÓN DE PUENTES SOBRE LOS RÍOS VIRILLA, CIRUELAS, GRANDE, CONCEPCIÓN Y SALITRAL, RUTA NACIONAL 27</i>	66
4.12a.	<i>Puentes evaluados</i>	66
4.13	CONCLUSIÓN GENERAL	74
<p>EL ANÁLISIS INTEGRAL DEL PAVIMENTO EN LA SECCIÓN DE LA TRONCAL PRINCIPAL DEBE REALIZARSE TOMANDO EN CONSIDERACIÓN LA INFLUENCIA DE UNA SERIE DE ASPECTOS QUE AFECTAN, EN MAYOR O MENOR MEDIDA, LA CALIDAD GENERAL DEL PROYECTO. SE DEBE TOMAR EN CONSIDERACIÓN LA CALIDAD DE LOS MATERIALES UTILIZADOS, ES DECIR, EL DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, EL DISEÑO ESTRUCTURAL O DE LOS ESPESORES DE LAS DISTINTAS CAPAS DEL PAVIMENTO, EL NIVEL DE SERVICIO QUE EL PAVIMENTO BRINDA A LOS USUARIOS EN TÉRMINOS DE CONFORT, COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR, SEGURIDAD VIAL Y POR ÚLTIMO, EL NIVEL DE DETERIORO SUPERFICIAL. NINGUNO DE ESTOS ASPECTOS SON INDEPENDIENTES ENTRE SI, EXISTE UNA ESTRECHA CORRELACIÓN ENTRE CADA UNO DE ELLOS Y DEBEN SER PONDERADOS DENTRO DEL ÁMBITO DE UN PROYECTO EN CONCESIÓN DE OBRA PÚBLICA.</p>		
4.13a.	<b>Conclusiones específicas</b>	74
4.13b.	<i>Sobre la condición estructural</i>	74
4.13c.	<i>Sobre la condición funcional</i>	74
4.13d.	<i>Sobre la resistencia al deslizamiento como parámetros de seguridad vial</i>	75
4.13e.	<i>Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica</i>	75
4.13f.	<i>Sobre la vulnerabilidad sísmica de los puentes evaluados</i>	76
4.14	RECOMENDACIONES	76
4.14a.	<i>Sobre la evaluación funcional, estructural, resistencia al deslizamiento y de deterioro superficial del proyecto</i>	76
4.14b.	<i>Sobre la vulnerabilidad sísmica de los puentes evaluados</i>	77
4.15	BIBLIOGRAFÍA	78
4.16	ANEXO I	80

## Índice de Tablas

TABLA 1 RANGOS Y VALORES CARACTERÍSTICOS DE IRI EN FUNCIÓN DEL PSI .....	14
TABLA 2 VALORES DEL GN MÍNIMOS RECOMENDADOS POR EL FABRICANTE DEL GRIPTESTER, PARA CARRETERAS .....	23
TABLA 3 CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO SEGÚN EL GN .....	24
TABLA 4 CLASIFICACIÓN DE PUENTES. (HAZUZ 1997; LANAMMEUCR, 2000). .....	28
TABLA 5 VALOR MEDIO DE ACELERACIÓN PICO COMO FUNCIÓN DE LOS DAÑOS EN LOS PUENTES. ....	29
TABLA 6 CRITERIOS DE VULNERABILIDAD PARA PUENTES. ....	30
TABLA 7 RANGOS DE DEFLEXIÓN, UTILIZADOS PARA CLASIFICAR RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA .....	31
TABLA 8 DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA EL PROYECTO SAN JOSÉ - CALDERA, CAMPAÑA 2010 .....	32
TABLA 9 DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA EL PROYECTO CALDERA – SAN JOSÉ, CAMPAÑA 2010 .....	33
TABLA 10 UBICACIÓN DE ESTACIONAMIENTOS DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO (FWD) .....	34
TABLA 11 RANGOS DE CLASIFICACIÓN DE REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI) .....	41
TABLA 12 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS, REGULARIDAD SUPERFICIAL DEL PROYECTO, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA .....	42
TABLA 13 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS, REGULARIDAD SUPERFICIAL DEL PROYECTO, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ. ....	43
TABLA 14 UBICACIÓN DE ESTACIONAMIENTOS CON PROBLEMAS DE REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI) .....	44
TABLA 15 CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO SEGÚN EL GN .....	52
TABLA 16 RESULTADOS OBTENIDOS, COEFICIENTE ROZAMIENTO SUPERFICIAL DEL PROYECTO, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA MEDIANTE EL ENSAYO GRIP .....	53
TABLA 17 RESULTADOS OBTENIDOS, COEFICIENTE ROZAMIENTO SUPERFICIAL DEL PROYECTO, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ MEDIANTE EL ENSAYO GRIP .....	54
TABLA 18 UBICACIÓN DE ESTACIONAMIENTOS CON PROBLEMAS RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (GRIP NUMBER) .....	55
TABLA 19 RESUMEN DE DETERIOROS SUPERFICIALES DETECTADOS EN LA SECCIÓN I. ....	63
TABLA 20 RESUMEN DE DETERIOROS SUPERFICIALES DETECTADOS EN LA SECCIÓN II. ....	64
TABLA 21 RESUMEN DE DETERIOROS SUPERFICIALES DETECTADOS EN LA SECCIÓN III. ....	64
TABLA 22 CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA. ....	67
TABLA 23 CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS. ....	68
TABLA 24 CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE SOBRE EL RÍO GRANDE. ....	69
TABLA 25 CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CONCEPCIÓN. ....	70
TABLA 26 CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE SOBRE EL RÍO SALITRAL. ....	72
TABLA 27 DAÑO ASIGNADO A LOS PUENTES EVALUADOS. ....	73

## Índice de Figuras

FIGURA 1 DIAGRAMA DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA 27, AÑO 2010 .....	9
FIGURA 2 EFECTO DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL EN EL CONFORT SENTIDO POR LOS USUARIOS DE LA RUTA .....	11
FIGURA 3 PERFILÓMETRO LÁSER.....	11
FIGURA 4 DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO.....	17
FIGURA 5 CUENCO DE DEFLEXIONES PRODUCIDO POR EL EQUIPO FWD .....	17
FIGURA 6 RELACIÓN ENTRE FACTOR DE CONDICIÓN Y “VIDA REMANENTE” .....	19
FIGURA 7 PAQUETES ESTRUCTURALES CONSTRUIDOS EN EL PROYECTO SAN JOSÉ - CALDERA .....	20
FIGURA 8 RANGOS DE DEFLEXIONES APLICADOS EN LA EVALUACIÓN PARA CALIFICAR LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PROYECTO. ....	21
FIGURA 9 DIFERENCIAS ENTRE MICRO Y MACRO TEXTURA DEL AGREGADO EN UNA SUPERFICIE DE RUEDO .....	22
FIGURA 10 GRIPTESTER UTILIZADO.....	23
FIGURA 11 EQUIPO DE REGISTRO DE IMÁGENES DIGITALES GEORREFERENCIADAS PARA LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO. ....	25
FIGURA 12 ANÁLISIS DE IMÁGENES POR MEDIO DE SISTEMA DE FOTOGRAFÍAS GEORREFERENCIADAS.....	25
FIGURA 13 RELACIÓN ENTRE LA CURVA DE FRAGILIDAD DE UN PUENTE Y LAS DE SUS COMPONENTES. ....	29
FIGURA 14 ESTADO GENERAL DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA SEGÚN LOS VALORES DE DEFLEXIÓN (FWD,2010)...	32
FIGURA 15 ESTADO GENERAL DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ, SEGÚN LOS VALORES DE DEFLEXIÓN (FWD,2010).33	33
FIGURA 16 RESULTADOS OBTENIDOS DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO, ESTACIONAMIENTO 0+000 – 12+000.....	35
FIGURA 17 RESULTADOS OBTENIDOS DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO, ESTACIONAMIENTO 12+000 – 24+000.....	36
FIGURA 18 RESULTADOS OBTENIDOS DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO, ESTACIONAMIENTO 24+000 – 38+000.....	37
FIGURA 19 RESULTADOS OBTENIDOS DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO, ESTACIONAMIENTO 38+000 – 50+000.....	38
FIGURA 20 RESULTADOS OBTENIDOS DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO, ESTACIONAMIENTO 50+000 – 62+000.....	39
FIGURA 21 RESULTADOS OBTENIDOS DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO, ESTACIONAMIENTO 50+000 – 62+000.....	40
FIGURA 22 GRÁFICOS COMPARATIVOS DEL ESTADO DEL PROYECTO, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA, SEGÚN REGULARIDAD SUPERFICIAL (PARÁMETRO IRI). ....	42
FIGURA 23 GRÁFICOS COMPARATIVOS DEL ESTADO DEL PROYECTO, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ, SEGÚN REGULARIDAD SUPERFICIAL (PARÁMETRO IRI). ....	43
FIGURA 24 RESULTADOS OBTENIDOS DE IRI, ESTACIONAMIENTO 0+000 – 12+000 .....	46
FIGURA 25 RESULTADOS OBTENIDOS DE IRI, ESTACIONAMIENTO 12+000 – 24+000 .....	47
FIGURA 26 RESULTADOS OBTENIDOS DE IRI, ESTACIONAMIENTO 24+000 – 38+000 .....	48
FIGURA 27 RESULTADOS OBTENIDOS DE IRI, ESTACIONAMIENTO 38+000 – 50+000 .....	49
FIGURA 28 RESULTADOS OBTENIDOS DE IRI, ESTACIONAMIENTO 50+000 – 62+000 .....	50
FIGURA 29 RESULTADOS OBTENIDOS DE IRI, ESTACIONAMIENTO 62+000 – 76+000 .....	51
FIGURA 30 ESTADO DEL PROYECTO SAN JOSÉ - CALDERA SEGÚN AGARRE SUPERFICIAL (PARÁMETRO GRIP), CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL; LONGITUDES EN KM. ....	53
FIGURA 31 ESTADO DEL PROYECTO CALDERA – SAN JOSÉ, SEGÚN AGARRE SUPERFICIAL (PARÁMETRO GRIP), CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL; LONGITUDES EN KM. ....	54
FIGURA 32 RESULTADOS OBTENIDOS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO, ESTACIONAMIENTO 0+000 – 12+000 .....	57
FIGURA 33 RESULTADOS OBTENIDOS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO, ESTACIONAMIENTO 12+000 – 24+000.....	58
FIGURA 34 RESULTADOS OBTENIDOS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO, ESTACIONAMIENTO 24+000 – 38+000 .....	59
FIGURA 35 RESULTADOS OBTENIDOS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO, ESTACIONAMIENTO 38+000 – 50+000 .....	60
FIGURA 36 RESULTADOS OBTENIDOS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO, ESTACIONAMIENTO 50+000 – 62+000 .....	61
FIGURA 37 RESULTADOS OBTENIDOS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO, ESTACIONAMIENTO 62+000 – 76+000 .....	62

## Índice de Imágenes

IMAGEN 1 DESPRENDIMIENTO MEDIO.....	65
IMAGEN 2 DESPRENDIMIENTO LEVE.....	65
IMAGEN 3 DESPRENDIMIENTO SEVERO.....	65
IMAGEN 4 PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA. ....	67
IMAGEN 5 PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS. ....	68
IMAGEN 6 PUENTE SOBRE EL RÍO CIRUELAS ....	69
IMAGEN 7 PUENTE SOBRE EL RÍO GRANDE.....	70
IMAGEN 8 PUENTE SOBRE EL RÍO CONCEPCIÓN.....	71
IMAGEN 9 PUENTE SOBRE EL RÍO CONCEPCIÓN.....	71
IMAGEN 10 PUENTE SOBRE EL RÍO SALITRAL. ....	72
IMAGEN 11 PUENTE SOBRE EL RÍO SALITRAL. ....	73

## Índice de Ecuaciones

ECUACIÓN 1: VIDA REMANENTE.....	18
ECUACIÓN 2: FACTOR DE CONDICIÓN .....	18
ECUACIÓN 3: NÚMERO ESTRUCTURAL .....	19

# **Evaluación del Proyecto San José-Caldera, año 2010**

## **Informe Final**

### **Resumen**

Bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar una evaluación anual de los proyectos y puentes administrados bajo la modalidad de concesión de obra pública, cumpliendo la función de ser un instrumento eficaz e imparcial de rendición de cuentas y contribuyendo en garantizar la calidad y el mantenimiento de los niveles de servicio de aquel patrimonio vial en manos de las empresas concesionarias.

Para poder valorar de forma objetiva la calidad de un proyecto en concesión y el mantenimiento de los niveles de servicio a lo largo de toda la vida útil del proyecto, es necesario contar con especificaciones técnicas que definan los estándares mínimos de calidad. En este informe se evalúa la condición actual del proyecto, de cara al cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas en el contrato y de acuerdo con los estándares internacionalmente aceptados.

En el caso de aquellas especificaciones contractuales que presentaron poca exigencia o ambigüedad en los parámetros, equipos o procedimientos de medición, el LanammeUCR realizó la valoración de acuerdo con los estándares de calidad, equipos y procedimientos establecidos internacionalmente para este tipo de proyectos. El análisis de las especificaciones contractuales ya fue presentado en el informe LM-PI-ERV-40-2010 emitido el 18 de octubre del año 2010.

Los parámetros técnicos con los que se realizó la evaluación de este proyecto en el año 2010 están relacionados directamente con la vida útil o de servicio, con el costo de operación de la flota vehicular que circula por el proyecto y con la seguridad vial, evaluando aspectos relevantes como la fricción de la superficie para facilitar el frenado de los vehículos para las velocidades de operación. Para una medición más precisa de los indicadores de calidad se utilizó el deflectómetro de impacto (FWD), para medir las deflexiones obtenidas al someter al pavimento a una fuerza que simula cargas de tránsito, lo que permite calcular la capacidad estructural del pavimento. Por otra parte, se utilizó el perfilómetro láser, el cual mide las irregularidades superficiales (IRI) de las vías, que se asocia tanto con el confort que siente el usuario que circula por dicho tramo, como principalmente con los costos de operación de los vehículos que usan las carreteras. En el tema de seguridad vial, el equipo de fricción o agarre (GRIPTESTER) permitió medir el coeficiente de rozamiento existente entre el pavimento y las llantas, lo que determina su adherencia a la calzada y que se relaciona directamente con el índice de peligrosidad de una ruta. Adicionalmente, se realizaron mediciones por medio de equipo láser que permite detectar la presencia de deformaciones en el pavimento, deterioros conocidos como “roderas”, y se realizó un análisis por medio de equipo de imágenes digitales de alta resolución, georeferenciadas por medio de satélites para detectar la presencia de otros tipos de deterioros sobre la superficie de rueda.

## 1. Introducción y Antecedentes

Según se establece en el artículo 5 de la Ley No. 8114 sobre la Simplificación y Eficiencia Tributaria, *“para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense...”*, la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (en adelante, LanammeUCR), deberá efectuar una evaluación anual de los proyectos y puentes en concesión. De conformidad con lo señalado, el presente es un informe técnico que se enmarca dentro de las funciones de fiscalizador que la citada ley le confiere al LanammeUCR.

La calidad final de un proyecto vial administrado bajo la modalidad de concesión de obra pública depende principalmente de dos aspectos: 1. la rigurosa fundamentación técnica de las especificaciones establecidas en el contrato, tomando en consideración que el proyecto debe brindar a los usuarios un servicio eficiente, confortable y seguro, considerando que además debe darse una recuperación del patrimonio vial representado por el proyecto específico, ya que eventualmente éste volverá a manos de la Administración y 2. Que El Estado o el ente encargado de fiscalizar el cumplimiento contractual tenga acceso o cuente con los recursos, capacidad técnica, conocimiento y tecnología suficiente para velar por el mantenimiento de los niveles de servicio a lo largo de la vida útil del proyecto y exigir al Concesionario el cumplimiento de los estándares establecidos.

A pesar de ser éste el primer proyecto en concesión de obra pública que es evaluado de acuerdo a lo establecido en los artículos 5 y 6 de la ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria, el LanammeUCR ya ha realizado evaluaciones de toda la Red Vial Nacional desde el año 2002, acumulando más de 35.000 km evaluados para el año 2010 y desarrollando un importante cúmulo de experiencia, conocimiento y tecnología en evaluación de proyectos viales.

La principal diferencia entre evaluar un proyecto en concesión o una red vial completa como la Red Vial Nacional no radica en los parámetros que se evalúan, sino en el nivel de detalle de la información que se genera, es decir, mientras una evaluación a nivel de red permite realizar mediciones con frecuencias mayores (ej. mediciones cada 500 metros) para poder calificar la condición de las vías, en evaluaciones a nivel de proyecto es necesario realizar mediciones con intervalos menores (ej. Cada 100 metros).

Tomando en consideración lo explicado anteriormente, la evaluación realizada en este proyecto está representada en el siguiente esquema operativo:



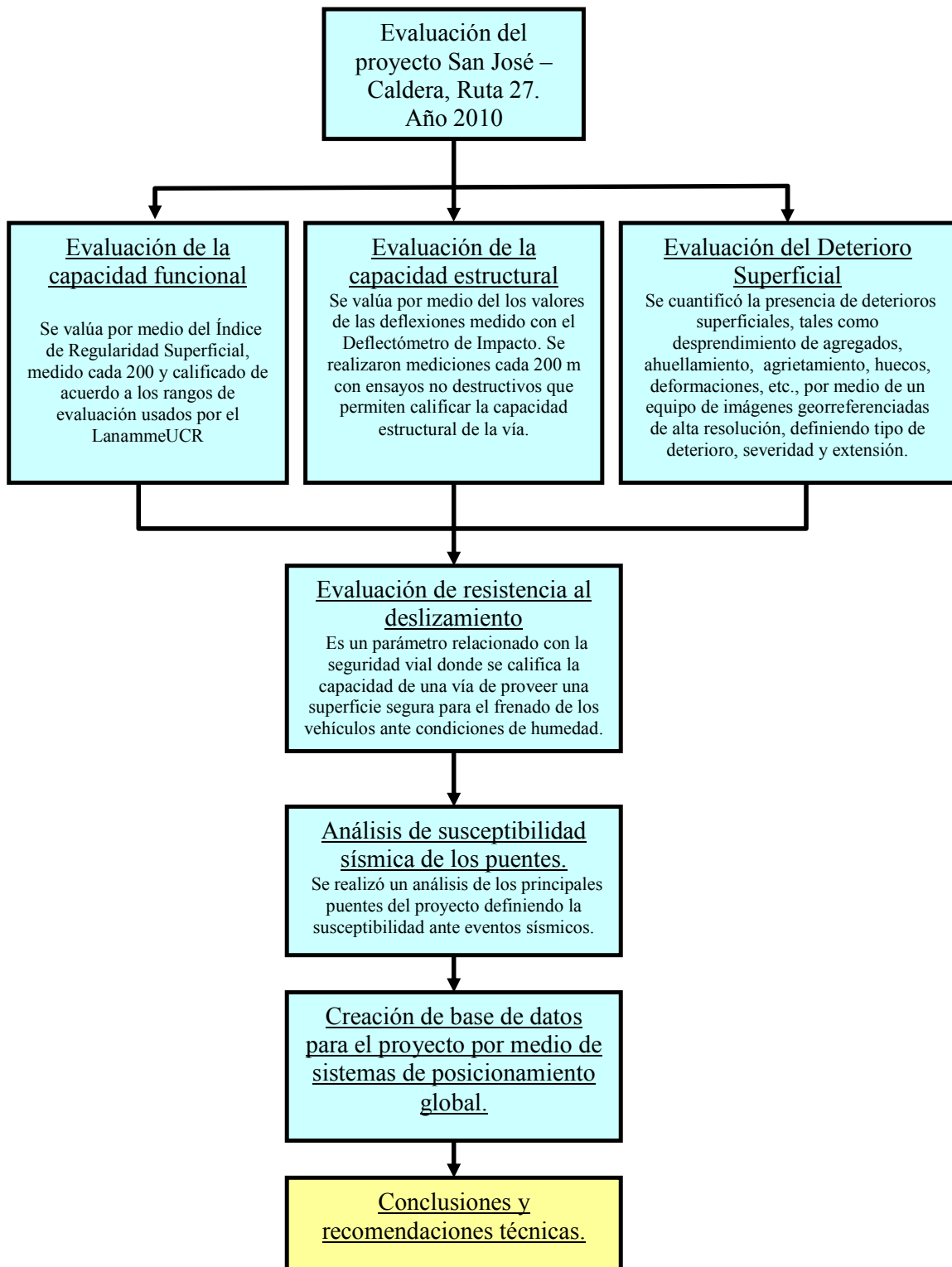


Figura 1 Diagrama de la evaluación del proyecto San José – Caldera Ruta 27, año 2010

## **2. Objetivos de la campaña de evaluación del proyecto en Concesión San José – Caldera, año 2010**

### **2.1 Objetivo general**

*Evaluar la condición del pavimento del proyecto en Concesión San José – Caldera, Ruta Nacional 27, en el año 2010 y definir el punto de partida inicial para medir la evolución del proyecto y así evaluar el desempeño a lo largo del tiempo y el mantenimiento de los niveles de servicio. Esta evaluación se realizó con el propósito de brindar a la Administración información oportuna y confiable que permita ejercer los controles de fiscalización que son potestad del Estado.*

### **2.2 Objetivos específicos**

- Evaluar la resistencia estructural de los pavimentos construidos, con el *Deflectómetro de Impacto* y clasificarla según los nuevos rangos de estado.
- Evaluar el estado de la regularidad superficial de los pavimentos de la red vial, con el *Perfilómetro Láser*, y clasificarla en rangos de estado.
- Evaluar el coeficiente de rozamiento de la superficie de los pavimentos de la red vial, con el *Medidor de coeficiente de rozamiento*.
- Hacer una evaluación del deterioro superficial de la calzada, por medio de equipo de cámaras digitales de alta resolución georreferenciadas, alertando de la presencia temprana de deterioros que pueden poner en peligro la seguridad del usuario, así como el confort y durabilidad del proyecto.
- Mantener una base de datos actualizada de los parámetros técnicos del proyecto que sea útil para la planificación de proyectos destinados al mejoramiento de la red vial.

## **3. Descripción de los equipos, criterios de calificación y procedimiento de medición.**

### **3.1 Capacidad funcional del proyecto (IRI). Descripción del equipo.**

El perfilómetro láser es un equipo de última generación que permite evaluar la condición de regularidad superficial de las carreteras, mediante un índice de estado estandarizado internacionalmente, denominado IRI (*Internacional Roughness Index*). La regularidad o rugosidad de una carretera se define como la suma de las irregularidades de la superficie por unidad una longitud, lo que es percibido por el usuario como el confort de marcha. Sin embargo, el aspecto más importante de la regularidad superficial es que se relaciona directamente con los costos del vehículo que circula por dicha carretera, dado que afecta su consumo de combustible y sus costos de mantenimiento (Figura 2).

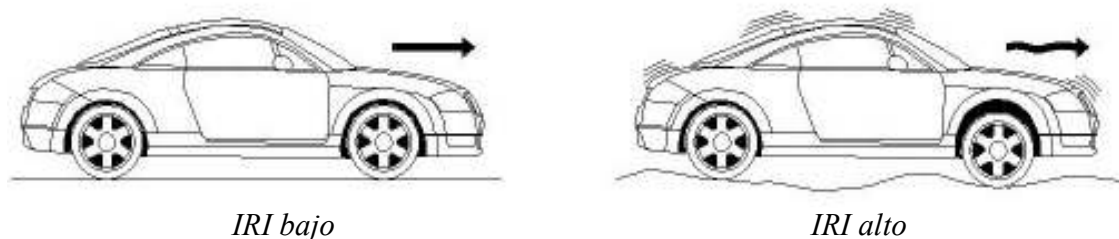


Figura 2 Efecto de la regularidad superficial en el confort sentido por los usuarios de la ruta

La Figura 3 muestra el equipo empleado por el LanammeUCR en la evaluación de proyectos, y que es conocido como perfilómetro láser. Dicho equipo consta de 3 sensores láser ubicados en la defensa delantera del vehículo, uno sobre cada huella de rodamiento y el tercero central. Estos sensores están conectados a un computador con GPS, el cual calcula en tiempo real el valor de IRI para segmentos de 100 metros de longitud, y los guarda en archivos de texto<sup>1</sup>. Cada uno de estos archivos debe ser procesado individualmente, para convertirlos en tablas de datos que necesita el SIG para crear los mapas y reportes finales de las mediciones para cada tramo de carretera evaluado.

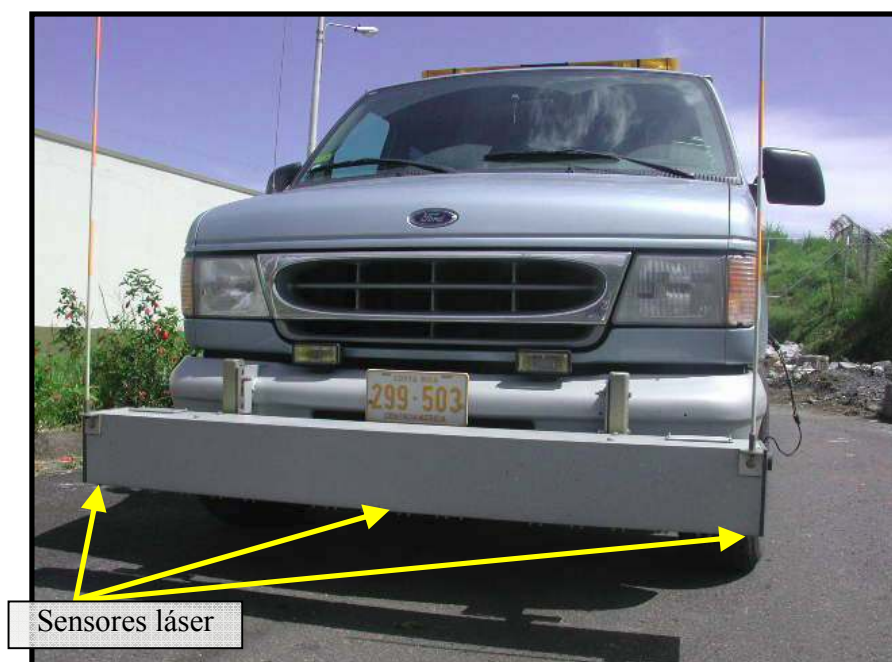


Figura 3 Perfilómetro Láser

<sup>1</sup> El proceso de cálculo del Índice de Regularidad Internacional se basa en las Normas de ASTM-E 950 “*Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference*”, la cual abarca la medición y almacenamiento de datos de perfil medidos con base en una referencia inercial establecida por acelerómetros; y la Norma ASTM-E 1170 “*Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces*”, la cual abarca el cálculo de la respuesta vehicular a las regularidades superficiales de la carretera, utilizando un programa de simulación vehicular

### 3.1a. Criterios de clasificación

Para definir rangos que pudieran reflejar la condición funcional de una ruta de forma objetiva se analizó la fundamentación técnica que dio origen al concepto de IRI, y se aplicaron las correlaciones existentes con otros índices, aceptados internacionalmente, que describen la condición funcional de las rutas (serviciabilidad) considerando tanto la rugosidad de los pavimentos, como los deterioros existentes.

Uno de los principios fundamentales considerados por la “American Association of State Highway and Transportation Officials” (AASHTO) en el desarrollo de la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos (AASHTO, Washington D.C., 1993) es la relación existente entre los conceptos de serviciabilidad y desempeño. De acuerdo con estos conceptos el pavimento existe para brindar confort y seguridad a los usuarios; por consiguiente, el desempeño de un pavimento debería ser cuantificado en términos de su serviciabilidad.

La AASHTO desarrolló en 1962, por medio de experimentación en el “tramo de prueba de escala natural” una definición de serviciabilidad de un pavimento, denominada como “Present Serviciability Rating” (PSR). El cálculo de este índice se realizó por medio de una apreciación subjetiva sobre la calidad de rodado, realizado por un grupo de personas que formaron parte de un panel evaluador. De esta evaluación subjetiva surgió una escala de clasificación que calificó la calidad de ruedo con valores entre 0 (intransitable) y 5 (excelente).

Uno de los objetivos principales de este estudio era desarrollar una relación entre el índice PSR subjetivo y un índice objetivo como lo es el índice PSI.

Producto de desarrollo de modelos de regresión lineal se logró calcular los valores de PSI, a partir de datos provenientes de las distintas secciones de la “Pista de Prueba” construida por la AASHTO. De esta forma fue posible estimar el PSR como una función derivada de variables como el “Slope Variante”, (SV) y considerando el aporte de deterioros como agrietamientos y bacheo, la cual logró estimar un nuevo índice de serviciabilidad objetivo conocido como PSI y representado por las siguientes ecuaciones:

Para Pavimentos Asfálticos:

$$PSI = 5.03 - 1.91 * \log(1 + SV) - 1.38 * D^2 - 0.01 * (C + P)^{0.5} \quad (1)$$

Para Pavimentos de Concreto Hidráulico:

$$PSI = 5.41 - 1.78 * \log(1 + SV) - 0.09 * (C + P)^{0.5} \quad (2)$$

Donde:

SV: Varianza de a pendiente longitudinal (Slope Variance) medida con un perfilómetro CHLOE, rod x 10<sup>-6</sup> (in/ft<sup>2</sup>).

RD: Ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, in.

C (en asfalto): Superficie agrietada,  $\text{ft}^2/1000\text{ft}^2$ .

C (en hormigón): Longitud total (transversales y longitudinales) de grietas, selladas o abiertos,  $\text{ft}^2/1000\text{ft}^2$ .

P: Superficie bacheada,  $\text{ft}^2/1000\text{ft}^2$ .

Considerando el alto grado de correlación existente entre las calificaciones de serviciabilidad por parte del usuario y ciertas variables que miden cuantitativamente el deterioro físico de pavimento, el concepto inicial de serviciabilidad (en términos de la opinión de un usuario, PSR) fue reemplazado por el de un índice de serviciabilidad (PSI) calculado según las relaciones anteriores, a partir de ciertos parámetros medidos con absoluta objetividad.

Una vez establecido el PSI como un indicador objetivo de la serviciabilidad de un pavimento, se desarrollaron investigaciones que permitieron establecer distintos modelos de correlación matemáticos para la estimación del PSI en función del IRI, entre ellos tenemos:

Para Pavimentos Asfálticos:

$$PSI = 5 - 0.2937 X^4 + 1.1771 X^3 - 1.4045 X^2 - 1.5803 X \quad (3)$$

**$R^2 = 95\%$**

Para Pavimentos de Concreto Hidráulico:

$$PSI = 5 + 0.6046 X^3 - 2.2217 X^2 - 0.0434 X \quad (4)$$

**$R^2 = 96.5\%$**

Donde  $x = \log(1+SV)$  para ambos casos

Adicionalmente se establece una ecuación de regresión del análisis de pares ordenados IRI – SV, obteniendo la siguiente ecuación:

$$SV = 2.2704 * IRI^2 \quad (5)$$

**$R^2 = 98.8\%$**

Combinando las ecuaciones (3) y (5) para pavimentos flexibles y (4) y (5) para pavimentos rígidos es posible obtener modelos que correlacionen PSI e IRI con un alto grado de confianza.

Otros modelos propuestos por Al –Omari y Darter (6) son:

Al –Omari y Darter (6) para pavimentos flexibles

$$PSR = 5 * e^{(-0.24*IRI)} \quad (6)$$

$$R^2 = 73\%$$

Al –Omari y Darter (6) para pavimentos rígidos

$$PSR = 5 * e^{(-0.272*IRI)} \quad (7)$$

$$R^2 = 73\%$$

De los modelos antes descritos, se eligieron, para la determinación de los rangos de IRI, los representados por las ecuaciones (3) y (4) (por sus coeficientes de variación  $R^2$  más altos), combinados con la ecuación (5).

De esta forma, mediante el uso de los modelos mostrados, se pueden establecer rangos para el IRI, cuyos límites van a estar determinados por los correspondientes valores del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), los cuales ya fueron definidos por la AASHO en 1962.

Los rangos propuestos se muestran en la siguiente tabla y permiten clasificar las rutas por su condición funcional considerando valores de rugosidad (IRI) y de serviciabilidad (PSI).

Tabla 1 Rangos y Valores característicos de IRI en función del PSI

Pavimentos Flexibles (Modelo de AASHO)			Pavimentos Rígidos (Modelo de AASHO)			Calificación	Descripción AASHO
Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI	Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI		
5.0	0.0		5.0	0		Muy Buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficiente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasificaría como muy buenos.
4.2	0.8	0 - 1.0	4.5	0.97	0 - 1.4		
4.0	1.0		4.0	1.4			
3.0	1.9	1.0 - 1.9	3.0	2.3	1.4 - 2.3	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden esta comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desprendimientos y fisuras menores.
2.5	2.6	1.9 - 3.6	2.5	2.9	2.3 - 3.6	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo de finos.
2.0	3.6		2.0	3.6			
1.5	4.9	3.6 - 6.4	1.5	4.6	3.6 - 6.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento, y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconches de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
1.0	6.4		1.0	6.0			
0.0	9.5	> 6.4	0.0	11.2	> 6.0	Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

### **3.1b. Procedimiento de medición**

En el caso de proyecto en concesión San José – Caldera ruta 27, específicamente en **SECCIÓN I:** San José-Ciudad Colón que corresponde al tramo de carretera existente entre el Gimnasio Nacional en San José y el inicio de la construcción del nuevo tramo Ciudad Colón-Orotina, con una longitud de 14.20 Km, **SECCIÓN II:** Ciudad Colón-Orotina, contempla el nuevo tramo de carretera a construir entre esas dos localidades, con una longitud de 38.80 Km y la **SECCIÓN III:** Orotina- Caldera, es el tramo de carretera existente entre Intercambio Orotina (paso superior) y el Puerto de Caldera, con una longitud de 23.80 Km, se realizaron mediciones del perfil longitudinal, el cual corresponde a una serie de datos que permiten el posterior cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Con los datos del perfil longitudinal, es posible calcular el valor de IRI en tramos de cualquier longitud, lo que permite analizar la condición funcional del proyecto bajo cualquier nivel de detalle deseado. Se debe considerar la presencia de “singularidades”, debido a que IRI involucra la diferencia entre el perfil longitudinal teórico y el perfil longitudinal existente, es un hecho que se pueden presentar ciertas singularidades que pueden afectar la medición del IRI. La metodología de evaluación para determinar la regularidad IRI de los pavimentos LNV 107-2000, empleada por la Dirección de Vialidad en Chile define a una singularidad como:

*“Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino”*

De igual manera, esta misma metodología define un área de influencia asociada a la singularidad, como sigue:

*“El largo de una singularidad corresponde a la suma de su longitud más su área de influencia que son 40 m hacia delante en el sentido de la medición”*

Se ubicaron las singularidades presentes en este proyecto y se ajustaron las mediciones para evitar análisis erróneos.

Para efectos de este informe se reportaron valores de IRI cada 100m y se calificaron los resultados de acuerdo a los rangos para pavimentos flexibles definidos en la sección 3.1.a criterios de clasificación, pero adicionalmente se solicitaron y analizaron todos los datos del perfil longitudinal.

De forma complementaria, por medio de la una reciente actualización del equipo, se realizaron mediciones de roderas para evaluar la existencia y severidad del deterioro conocido como “ahuellamiento”, comparándolo con las especificaciones del contrato.

### 3.2 Capacidad estructural del proyecto (FWD). Descripción del equipo.

Un indicador muy importante del comportamiento de los pavimentos, son las deformaciones que experimenta al ser sometido al peso de los vehículos. Dichas deformaciones o deflexiones se asocian directamente con la ocurrencia de agrietamientos por fatiga y deformaciones permanentes en la capa de rodamiento, tales como roderas; lo cual reduce la vida útil del pavimento.

Existen actualmente diversas técnicas para obtener dichas deflexiones, las cuales se basan en la teoría del pavimento como una estructura multicapa, cuyo comportamiento sigue la teoría de elasticidad. Los métodos de medición bajo impacto son los que mejor simulan el efecto de las cargas dinámicas como las producidas por los vehículos al transitar (Aquino, Zárate: “*Comentarios sobre la aplicación de los parámetros relacionados con la forma de la cuenca de deflexiones, utilizando el deflectómetro de impacto*”, 2006). El equipo utilizado en el LanammeUCR para la evaluación de deflexiones en pavimentos, conocido como FWD por sus siglas en inglés (*Falling Weight Deflectometer*) o simplemente deflectómetro de impacto (Figura 4), utiliza esta metodología. El deflectómetro de impacto es un equipo de alta tecnología que mide el hundimiento o deflexión instantánea que experimenta el pavimento en un punto, debido al golpe de un peso lanzado desde un mecanismo diseñado específicamente con este propósito, de tal manera que produzca una fuerza de reacción en el pavimento de 40 KN (566 Mpa). Esta carga cae sobre un plato circular cuya área de contacto es similar a la de una llanta de vehículo; las deflexiones obtenidas son registradas por 9 sensores, el primero directamente en el plato de carga, y los demás dispuestos en un arreglo lineal con una longitud máxima de 180 centímetros (Figura 5)<sup>2</sup>. Con esta disposición es posible obtener además la forma y tamaño del cuenco de deflexiones, el cual se relaciona con aspectos como el espesor y rigidez del pavimento, las características de los materiales de las capas subyacentes y la magnitud de la carga aplicada. Es posible, con un procedimiento de cálculo inverso, determinar los módulos de elasticidad de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento, así como su vida útil remanente.

---

<sup>2</sup> El procedimiento de medición se realiza con base en la Norma ASTM D 4695 “Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements”, y consiste en transportar el equipo al lugar del ensayo y colocar el plato de carga sobre el punto deseado, descender el plato de carga y los sensores a la superficie del pavimento y subir el peso a la altura deseada para luego dejarlo caer, grabando los resultados de deflexión y carga.





Figura 4 Deflectómetro de Impacto

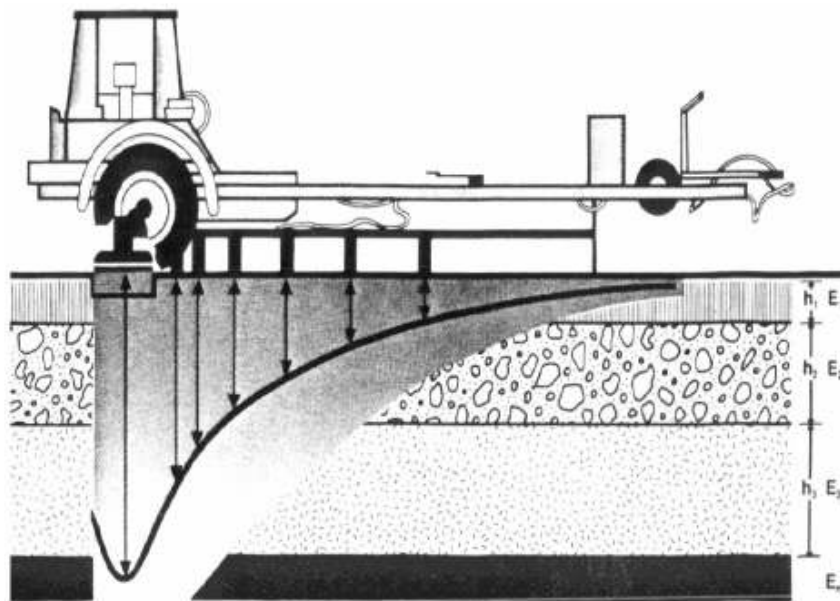


Figura 5 Cuenco de deflexiones producido por el equipo FWD

Es importante notar que las deflexiones obtenidas, si bien sirven para inferir la capacidad estructural de un pavimento, no son suficientes por sí solas, dado que se necesita además conocer la estructura interna del pavimento (capas componentes, materiales, espesores) y del tránsito (número de vehículos, composición de la flota), para poder estimar correctamente la capacidad estructural y vida útil remanente de la carretera; estos elementos serán considerados al momento de definir los rangos con los que se va a clasificar el pavimento de acuerdo con los valores de deflexiones medidos, de forma que las deflexiones puedan ser usadas directamente para determinar la capacidad estructural del pavimento.

### 3.2a. Criterios de clasificación

La evaluación del proyecto con el deflectómetro de impacto brindará datos de deflexiones medidas en  $\text{mm} \times 10^{-2}$ , para lograr definir si esas deflexiones corresponden a pavimentos con buena, regular o mala capacidad estructural es necesario definir los rangos de deflexiones aplicables.

Para la definición de estos rangos es necesario contar con el detalle de los paquetes estructurales efectivamente construidos en las distintas secciones del pavimento, es decir, espesores, tipos de material, módulos de los materiales, datos de tránsito, longitud del tramo, etc.

La capacidad estructural del pavimento disminuye con el tiempo y el tráfico. En el caso de los pavimentos flexibles, la capacidad estructural efectiva puede determinarse mediante tres metodologías alternativas:

- Capacidad estructural con base en ensayos a los materiales y evaluación visual.
- Capacidad estructural con base en ensayos no destructivos de deflexión.
- Capacidad estructural con base en daño por fatiga debido al tráfico.

En la definición de los rangos el lanammeUCR utilizó el método de “Vida Remanente”, el cual sigue el concepto de daño por fatiga. Esto es, que las cargas repetidas dañan gradualmente el pavimento y reducen el número de cargas adicionales que puede soportar y que lo llevan a la falla. En este caso, se supone que la reducción en la capacidad estructural del pavimento, no presentará daños observables pero si una reducción en términos de la cantidad de cargas futuras que puede soportar.

Para determinar la “Vida Remanente”, se debe determinar la cantidad de tráfico que el pavimento ha soportado hasta ese momento y la cantidad total de tráfico que se espera, pueda soportar hasta la “falla” (para ser consistentes con la ecuación de diseño de la metodología de la AASHTO 1993, se considera la falla cuando el índice de serviciabilidad, PSI, es igual a 1.5). Ambas cantidades de tráfico deben expresarse en términos de Ejes Equivalentes de Diseño de 9000 Kg (18000 lbs). La diferencia entre estos valores, expresado como un porcentaje del tráfico total para la “falla” se define como “Vida Remanente”, y se denota por la Ecuación 1:

$$RL = 100 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{N_p}{N_{1.5}} \right) \right]$$

**Ecuación 1: Vida Remanente**

donde:

RL: Vida Remanente, %

$N_p$ : cantidad de Ejes Equivalentes de Diseño en un momento determinado, ESAL's 18000 lbs

$N_{1.5}$ : cantidad de Ejes Equivalentes de Diseño para la falla del pavimento (PSI=1.5), ESAL's 1800 lbs

Una vez determinada la “Vida Remanente”, el diseñador puede obtener el Factor de Condición, CF, a partir de la 5. El Factor de Condición, CF, se define como:

$$CF = \frac{SC_n}{SC_0}$$

**Ecuación 2: Factor de Condición**

donde:  $SC_n$ : capacidad estructural del pavimento después de  $N_p$  ESAL's  
 $SC_0$ : capacidad estructural original del pavimento

### Factor de Condición, CF

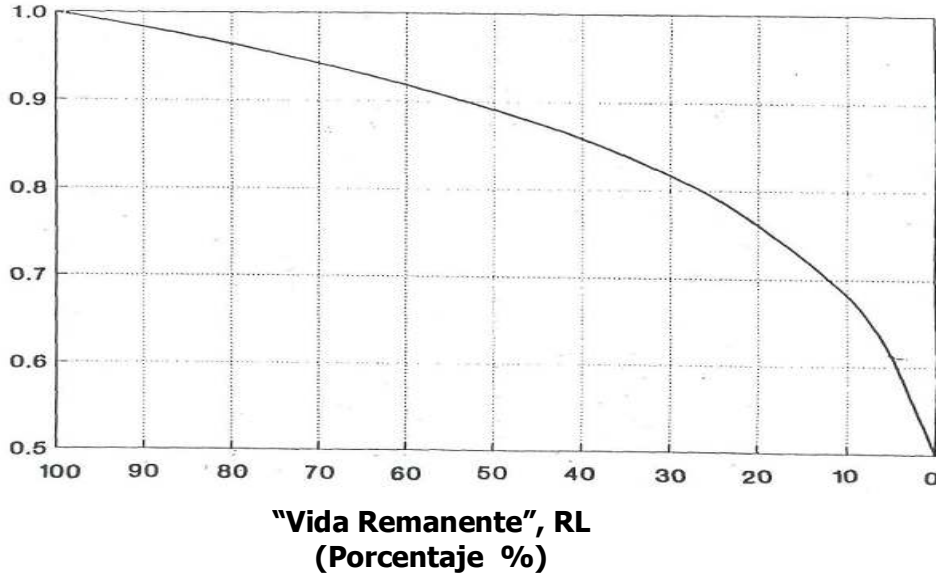


Figura 6 Relación entre Factor de Condición y "Vida Remanente"

La capacidad estructural existente puede ser estimada multiplicando la capacidad estructural original del pavimento por el Factor de Condición, CF, como se muestra a continuación:

$$SN_{eff} = CF \cdot SN_0$$

### Ecuación 3: Número Estructural

La aproximación de la vida remanente para determinar el  $SN_{eff}$  tiene algunas limitaciones asociadas con el método. Las principales son las siguientes:

La capacidad de predicción de las ecuaciones de diseño obtenidas de la pista de ensayo de la AASHTO. Las grandes variaciones en el desempeño típico observado en pavimentos con diseños aparentemente idénticos.

Estimación de los Ejes Equivalentes de Diseño de 18000 lbs que han pasado en un determinado momento.

Para la evaluación de este proyecto el criterio utilizado fue el de evaluar las variaciones en el número estructural al 54% y al 12% de Vida Remanente.

Numerosos estudios demuestran que el comportamiento de la curva del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) para la mayoría de los pavimentos tiene un comportamiento donde la variación del índice es muy baja en los primeros años y desciende de forma acelerada al final del período de diseño, por lo tanto, las deflexiones esperadas antes de un 54% de Vida Remanente serán representativas de un

pavimento en buen estado estructural y aquellas obtenidas para un pavimento con un 12% de Vida Remanente corresponderían a un pavimento con un mal estado estructural.

Una vez obtenidos los nuevos valores de los SN al 54% y 12% de vida remanente es posible, mediante un proceso de retrocálculo establecer los valores de deflexión asociados con esta pérdida de capacidad estructural y se definirán así “juegos de rangos”, tantos como paquetes estructurales se hayan construido, aplicables a cada tramo y que permitirán calificar los valores de las deflexiones obtenidas en los ensayos de deflectometría en el proyecto.

En este proyecto se construyeron cuatro paquetes estructurales distintos representados en la (figura 7).

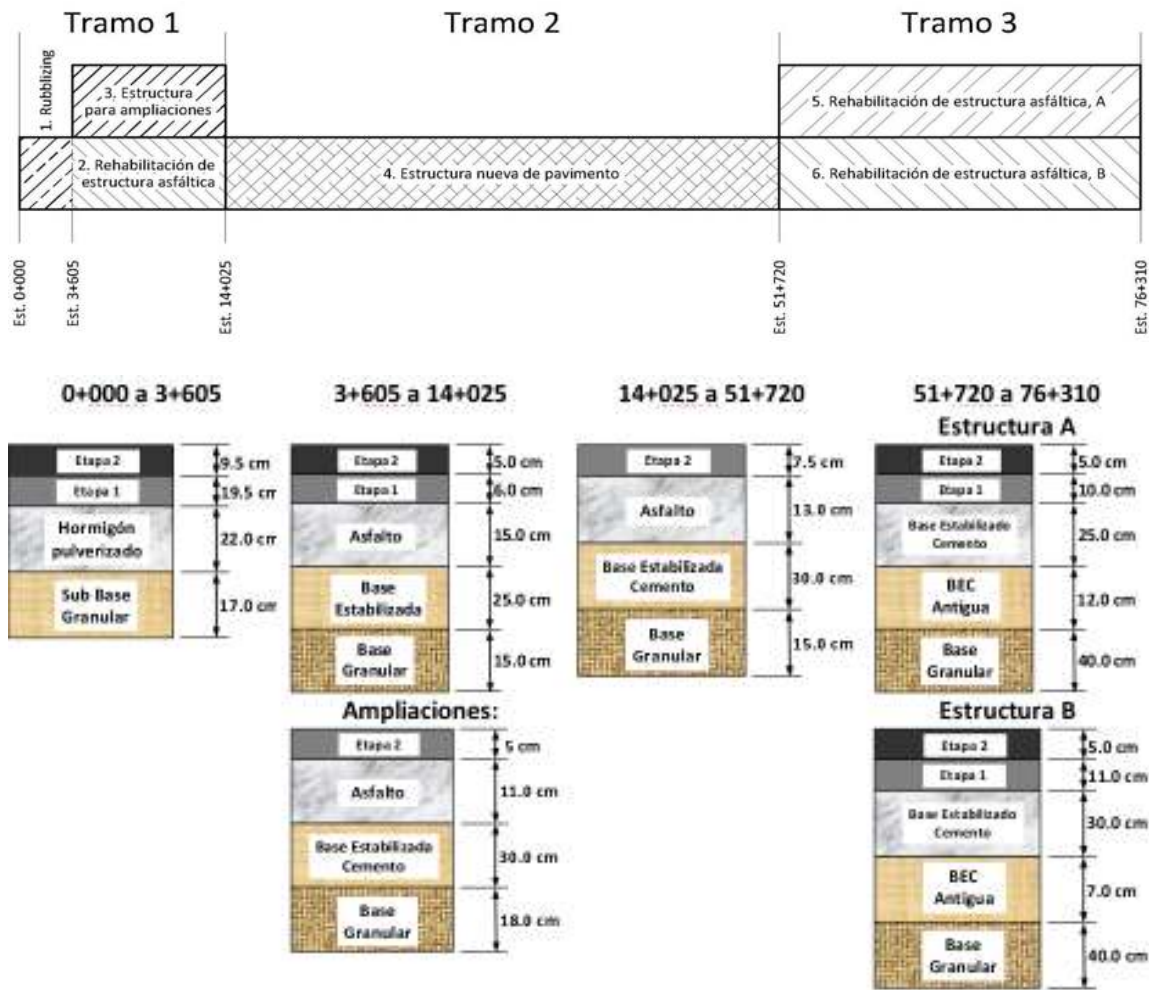


Figura 7 Paquetes estructurales construidos en el proyecto San José - Caldera

En este caso las ampliaciones no fueron evaluadas y las estructuras A y B del último tramo son estructuralmente equivalentes bajo el método de diseño AASHTO-93.

Analizando los paquetes estructurales del proyecto se calcularon los siguientes rangos de deflexiones para cada tramo (figura 8)

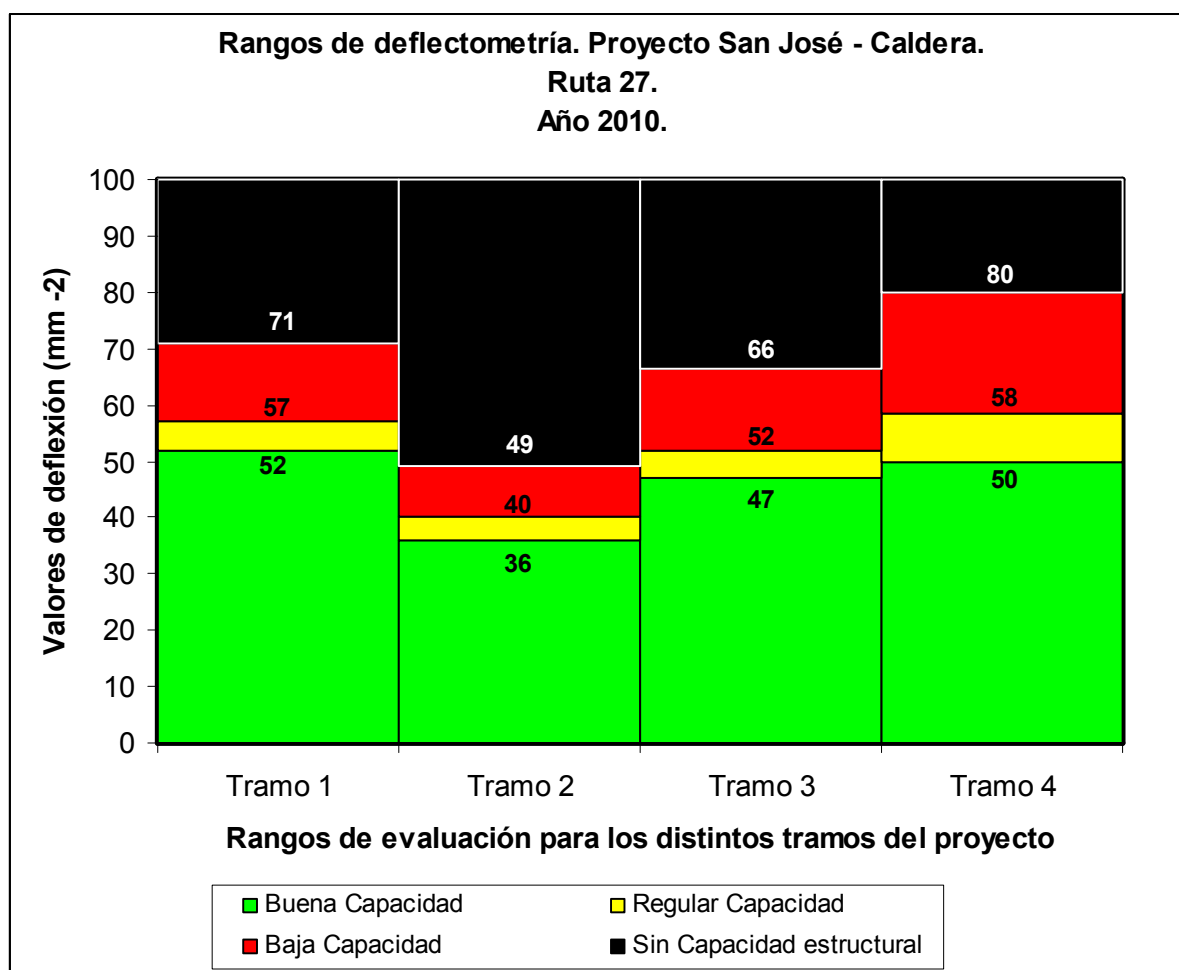


Figura 8 Rangos de deflexiones aplicados en la evaluación para calificar la capacidad estructural del proyecto.

### 3.2b. Procedimiento de medición

Las distancias entre mediciones fueron las recomendadas por la norma ASTM D 4695-03. En esta norma se hace la diferencia entre tres niveles de evaluación, el primer nivel o sea una evaluación a “nivel de red” las distancias pueden variar entre 100m a 500m, el segundo nivel es una evaluación “General a nivel de proyecto” con distancias que oscilan entre 50m a 200m y un último nivel denominado “Detallado a nivel de proyecto” con distancias que varían entre 10m a 100m.

Para el caso específico de este proyecto se realizarán mediciones cada 200 m en el carril de diseño (carril derecho) y en el carril externo cada 500m como valor de referencia, ya que se asume que no existen variaciones transversales significativas del paquete estructural construido. En el caso de existir variaciones en los paquetes estructurales de carriles adyacentes se procederán a evaluar por separado cada carril, manteniendo la distancia de 200 entre cada punto de deflectometría y asociando los datos obtenidos con los rangos de calificación correspondientes.

### 3.3 Resistencia al deslizamiento (Grip Number). Descripción del equipo.

Un aspecto muy importante en la seguridad vial, es el nivel de agarre o rozamiento que experimenta la llanta del vehículo con la carretera. A mayor nivel de rozamiento, mayor es la fuerza que trata de oponerse al deslizamiento del vehículo, lo cual es necesario por ejemplo cuando el conductor debe tomar una curva a una velocidad moderada en carreteras principales o rotondas, o cuando debe realizar una frenada de emergencia. Por otro lado, pavimentos con nivel de rozamiento bajo brindan condiciones inseguras para los usuarios, siendo el derrape o pérdida del control del vehículo la causa común de accidentes en rutas que presentan esta condición. Como se deriva de lo anterior, mantener un valor mínimo de rozamiento de la superficie es vital para conservar las condiciones de servicio y seguridad normales de una vía. Varios países cuentan con estudios que relacionan los bajos niveles de rozamiento de un tramo vial con índices más elevados de ocurrencia de accidentes; lo cual indica que se deben mejorar los niveles de rozamiento para reducir la cantidad de accidentes y los gastos asociados con estos.

El nivel de rozamiento de la superficie depende de varios factores, siendo los principales la macro textura y la micro textura de la mezcla asfáltica o concreto utilizado en la vía. La macro textura se relaciona directamente con el tipo de agregado expuesto en la mezcla obtenida; y afecta directamente la capacidad de drenaje del agua en la superficie de la vía. A mayor macro textura, mejor esta capacidad, pero en detrimento del desgaste de las llantas de los vehículos que por dicha ruta circulan. A menor macro textura, menor la capacidad de drenaje de la carretera, que ante ciertas condiciones de cantidad de agua superficial y velocidad de los vehículos produce el fenómeno llamado *hidroplaneo*: la llanta no se encuentra en contacto directo con la superficie, sino que entre ambos se forma una pequeña película de agua, lo que conlleva a la pérdida del control del vehículo al maniobrar. Por otra parte, la micro textura depende directamente de la superficie del agregado expuesto en la mezcla, y es la que brinda la adhesión entre este agregado y la llanta. La piedra con poca resistencia o que se pule fácilmente con el paso del tránsito (como por ejemplo el agregado calizo) es por tanto poco apta para utilizarla en mezclas usadas en superficies de rueda. La Figura 9 ilustra lo expuesto anteriormente.

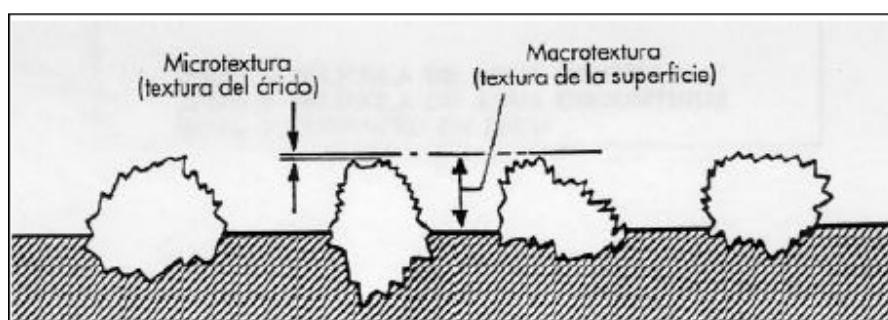


Figura 9 Diferencias entre micro y macro textura del agregado en una superficie de rueda

El equipo utilizado por el LanammeUCR para medir el coeficiente de rozamiento es del tipo que utiliza una rueda parcialmente bloqueada en dirección de la trayectoria seguida, y es conocido a nivel internacional como *Griptester*. Dado que la condición húmeda de una carretera es la condición que ofrece el menor rozamiento, el equipo posee una bomba y una reserva capaz de generar una película de agua constante al frente de la rueda; mediante sensores, el equipo calcula directamente la fuerza de arrastre ejercida sobre ésta y obtiene el *gripnumber* o medición de rozamiento. Este valor puede relacionarse con el coeficiente internacional de fricción IFI, si se conoce la textura de la superficie de

ruedo. La ventaja de este aparato es su facilidad de operación, su reducido tamaño que no necesita de un vehículo dedicado, y que permite tomar mediciones continuas en las carreteras (ver Figura 10).



Figura 10 Griptester utilizado

### 3.3a. Crterios de clasificaci3n

El lanammeUCR defini3 dos rangos de clasificaci3n para medir la condici3n de rozamiento en la red vial. El primer rango es el que recomienda el fabricante del equipo, el cual varía un poco seg3n el tipo de vía por el que se circula; los valores recomendables aparecen en la Tabla 2. El segundo rango de clasificaci3n es utilizado a nivel internacional, el cual relaciona los valores del coeficiente de fricci3n transversal (CFT) con el valor *Gripnumber* (GN) que arroja la prueba; éste es ilustrado en la Tabla 3.

Tabla 2 Valores del GN m3nimos recomendados por el fabricante del Griptester, para carreteras

Zona	Definici3n de vía donde aplica	GN*
A	Autopista	0,48
B	Vías de doble carril	0,48
C	Vías de carril sencillo	0,54
D	Vías de doble carril, 50 m o menos de distancia a intersecciones con rutas secundarias	0,54
E	Vías de carril sencillo, 50 m o menos de distancia a intersecciones con rutas secundarias	0,60
F	Cualquier ruta, 50 m o menos de distancia a intersecciones con rutas principales	0,60
G1	Rutas con pendientes entre 5% y 10% (no importa la cercanía a intersecciones)	0,60
G2	Rutas con pendientes mayores del 10% (no importa la cercanía a intersecciones)	0,66
H1	Lazos de uni3n entre autopistas, radios menores a 250 m	0,60
H2*	Lazos de uni3n entre autopistas, radios menores a 100 m	0,78
J	Cualquier ruta, 50 m o menos de distancia a rotondas	0,66
K	Cualquier ruta, 50 m o menos de distancia a semáforos y/o pasos de peatones / ferrocarril	0,66
L*	Rotondas	0,72

\* Todas las mediciones hechas a 50 km/h, excepto H2 y L, las cuales se realizan a 20 km/h

Tabla 3 Clasificación internacional del pavimento según el GN

GN	Condición	Nivel			Tipo de Pavimento característico
		Deslizamiento	Peligrosidad	Riesgo medio de accidentabilidad*	
< 0,50	Malo	Muy deslizante	Muy peligroso	mayor a 20	Pavimento flexible compuesto de agregado calizo o pulido
0,50 – 0,60	Regular	Deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y/o pérdida de textura
0,60 – 0,78	Bueno	Poco deslizante	Moderado	10 a 16	Pavimento rígido y flexible con buena textura
> 0,78	Muy Bueno	No deslizante	Seguro	menor a 10	Pavimento nuevo o sobrecapas

\* Número de accidentes por cada millón de vehículos / kilómetro, en función del coeficiente de fricción, obtenidos en Gran Bretaña, según memorias del 5to Simposio de Características Superficiales de Pavimentos, Toronto, Canadá, 2004.

### 3.3b. Procedimiento de medición

Se debe considerar que este equipo no puede ser utilizado en tramos que presenten un valor de IRI mayor de 4,0; de no mantener este cuidado, el equipo perdería su calibración rápidamente. Todas las mediciones se realizan a una velocidad promedio de 50 km/hora. En el procedimiento de medición el equipo genera una película de agua de 5mm y realiza mediciones cada 5m, de esta forma se generará un “perfil” de resistencia al deslizamiento bajo condiciones críticas y se calificará la condición de resistencia al deslizamiento de acuerdo a lo especificado en la sección 3.3ª, Criterios de clasificación

### 3.4 **Análisis de deterioros superficiales mediante imágenes de alta resolución georreferenciadas y equipo láser para medir el ahuellamiento. Descripción del equipo.**

Para poder evaluar de forma integral cualquier proyecto de carreteras es necesario, además de la valoración de las capacidades funcionales y estructurales, realizar un análisis de los deterioros superficiales, con el fin de definir un diagnóstico de aspectos que no pueden ser medidos por los equipos anteriormente descritos.

Para tales efectos el LanammeUCR cuenta con un equipo de cámaras digitales de alta resolución que toman imágenes georreferenciadas, es decir, es un levantamiento digital de imágenes a 360° que permiten analizar la mayoría de los detalles relevantes de la infraestructura vial, tales como deterioros superficiales, elementos de seguridad vial, elemento geométricos, etc (ver figura 11), en las oficinas y ubicada cada imagen con un alto nivel de precisión por medio de mapas que permiten encontrar la ubicación exacta de cada punto analizado dentro del proyecto la figura 12 ilustra el análisis que se puede hacer con el equipo.



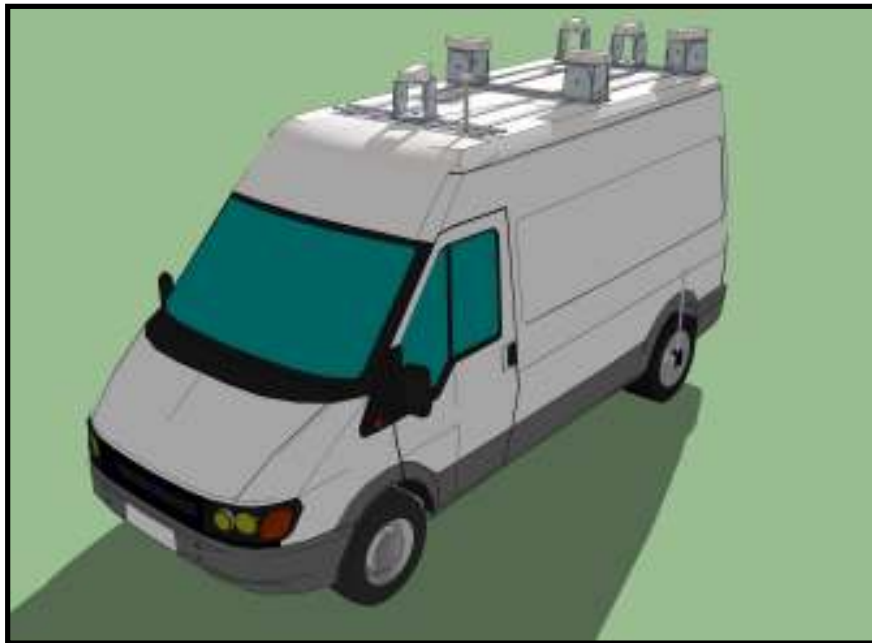


Figura 11 Equipo de registro de imágenes digitales georreferenciadas para la evaluación del proyecto.

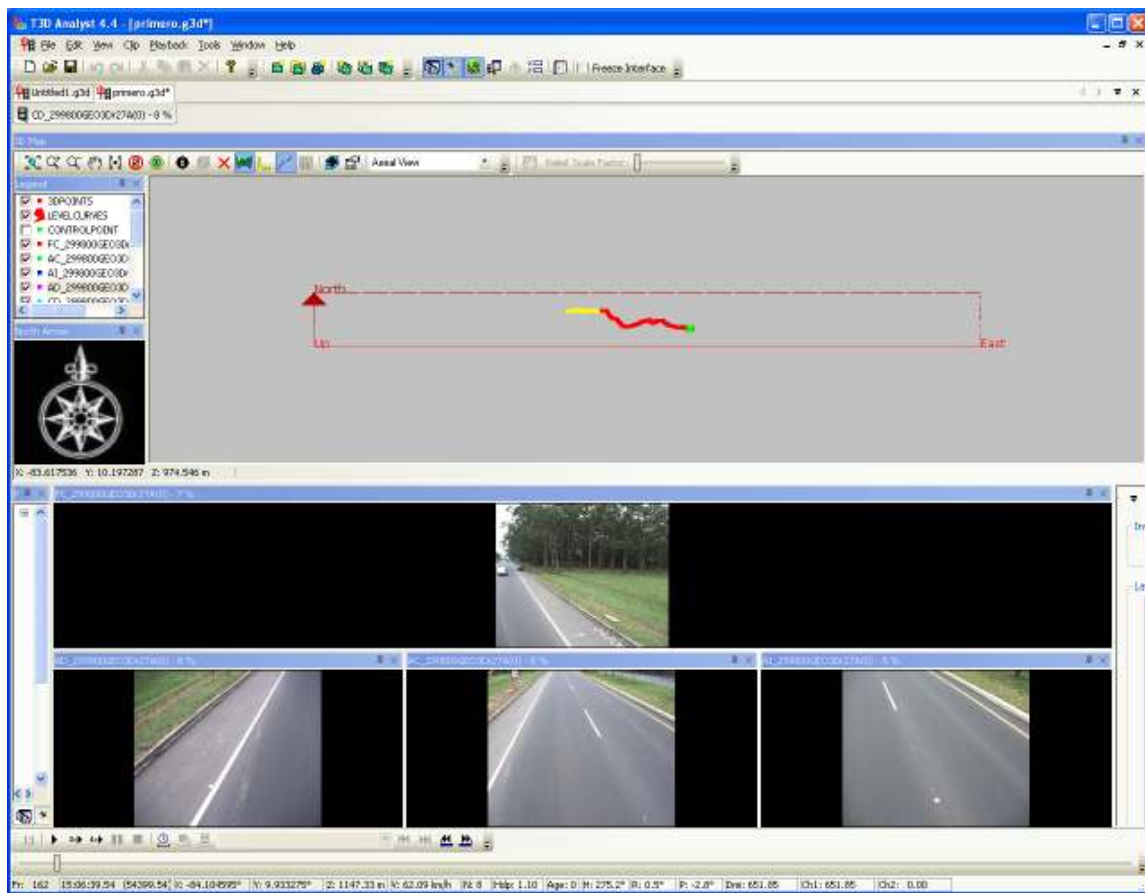


Figura 12 Análisis de imágenes por medio de sistema de fotografías georreferenciadas

### **3.4a. Criterios de clasificación**

Para este tipo de evaluación, la calificación del estado superficial de la vía responde a un procedimiento de identificación de los deterioros por comparación con “Catálogos de Deterioros”, en este caso el catálogo de referencia utilizado proviene de la Norma ASTM D-6433 “Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”, por medio de la cual se puede calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI).

Adicionalmente se verificó con este equipo el cumplimiento de los siguientes criterios, provenientes del CONTRATO DE CONCESIÓN DE OBRA PÚBLICA CON SERVICIO PÚBLICO, “PROYECTO CARRETERA SAN JOSÉ - CALDERA”:

1. Presencia de ahuellamiento.
2. Presencia de agrietamiento.
3. Presencia de “piel de cocodrilo”
4. Presencia de grietas transversales y longitudinales.
5. Desprendimiento de agregados.
6. Presencia de baches abiertos o huecos.
7. Presencia de corrugaciones, hinchamientos, hundimientos.
8. Presencia de exudación.
9. Presencia de baches abiertos en el espaldón o diferencias de nivel entre el espaldón y la calzada.

### **3.4b. Procedimiento de medición**

El equipo utilizado cuenta con un proceso previo de calibración que garantiza precisión y exactitud en la ubicación de los puntos y en las mediciones, de manera que para evaluaciones a nivel de red y de proyecto revelan condiciones reales del momento de recopilada la información.

Las imágenes de las seis cámaras colocadas en el vehículo de la camioneta son de alta resolución, permitiendo detectar cualquier tipo de deterioro sobre la superficie del pavimento, se toman imágenes al frente, a los lados y tres sobre la superficie del pavimento en la parte posterior del vehículo (ver figura 10), proporcionando una base de datos de información visual detallada. Las imágenes son tomadas a razón de seis imágenes en un ángulo de 360° cada cuatro metros y el software de análisis de imágenes permite realizar mediciones de longitudes y áreas con una alta precisión, dejando una ubicación exacta del lugar donde se detecten deterioros del pavimento o cualquier otro aspecto de la infraestructura que se desee analizar.

### **3.5 Evaluación de la vulnerabilidad de puentes según el método de RMS Inc.**

Para la evaluación de los daños que provocaría un sismo sobre un puente se pueden utilizar curvas de fragilidad, las cuales indican la probabilidad de que un determinado estado de daños sea excedido para una aceleración pico del terreno en función de la forma estructural del puente.

Esta metodología se basa en estudios estadísticos del comportamiento de puentes ante sismos ocurridos en el pasado, y es una práctica muy utilizada en la actualidad debido al desarrollo de un gran número de curvas de fragilidad para distintos tipos de estructuras.

Para la evaluación de la vulnerabilidad de puentes ante amenaza sísmica se utiliza, en este caso, el método desarrollado por Risk Management Solutions Inc. (RMS), publicado en 1997, el cual considera el comportamiento diferenciado de diferentes tipos estructurales de puentes.

Este método consiste en la utilización de curvas de fragilidad para puentes vehiculares, las cuales permiten conocer el estado de daños de un puente a partir de sus características estructurales y el valor de la aceleración pico esperada del terreno para ciertos niveles de confianza.

Para realizar el análisis los puentes deben ser agrupados de acuerdo con sus características estructurales, luego se relacionan con la aceleración pico del terreno por medio de funciones de daño que analizan el efecto de la sollicitación sísmica sobre cada uno de los componentes del puente.

La metodología de análisis se detalla a continuación:

### 1. Clasificación de puentes

El daño causado a un puente por las sollicitaciones sísmicas está directamente relacionado con las propiedades estructurales del puente, el cual puede ser clasificado usando tres criterios: tipo, diseño sismo-resistente y características de alto riesgo.

#### Tipo

- a. Puentes de gran tamaño: Aquellos con al menos una luz de 150 metros.
- b. Puentes continuos: Aquellos con luces menores de 150 metros, continuos y monolíticos.
- c. Puentes simplemente apoyados: Aquellos con una o varias luces menores de 150 metros y apoyos simples.

#### Diseño sismo resistente

- a. Puentes con diseño sismo resistente: Aquellos diseñados con los criterios sismo resistentes de los códigos modernos o reforzados para cumplir con tales características.
- b. Puentes con diseño convencional: Aquellos diseñados sin tomar en cuenta los criterios de diseño sismo resistente.

#### Características de alto riesgo

- a. Superestructura con forma irregular, ya sea forma curveada o sesgado respecto al eje del río (se consideran sesgos mayores a  $45^\circ$  y las curvas mayores a  $90^\circ$ ).
- b. Puentes construidos con códigos anteriores al AASHTO de 1973 deben ser considerados de alto riesgo.
- c. Número de luces: Puentes simplemente apoyados con más de una luz deben ser considerados de alto riesgo, debido al pobre comportamiento de las pilas centrales.

De los criterios anteriores se obtiene 12 categorías de clasificación de puentes, los cuales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Clasificación de puentes. (Hazuz 1997; LanammeUCR, 2000).

Código	Descripción
HBR1	Puente de gran tamaño – diseño sismo resistente
HBR2	Puente de gran tamaño – diseño convencional
HBR3	Puente continuo – diseño sismo resistente
HBR4	Puente continuo – diseño convencional
HBR5	Puente simplemente apoyado – diseño sismo resistente
HBR6	Puente simplemente apoyado – diseño convencional
HBR7	Puente de gran tamaño – diseño sismo resistente de alto riesgo
HBR8	Puente de gran tamaño – diseño convencional –de alto riesgo
HBR9	Puente continuo – diseño sismo resistente – de alto riesgo
HBR10	Puente continuo – diseño convencional – de alto riesgo
HBR11	Puente simplemente apoyado – diseño sismo resistente – de alto riesgo
HBR12	Puente simplemente apoyado – diseño convencional – de alto riesgo

## 2. Definición de los estados de daño

Según la metodología se definen cinco niveles de daño:

- a. Ningún daño ( $ds_1$ ): El puente no presenta daño.
- b. Daño menor ( $ds_2$ ): Agrietamiento menor y descascaramiento de los bastiones, así como agrietamiento menor en las columnas.
- c. Daño moderado ( $ds_3$ ): Las columnas experimentan un agrietamiento moderado y descascaramiento, pero la columna se mantiene estructuralmente funcional. Se presenta asentamiento de los accesos y en las conexiones se agrietan las llaves de cortante y se tuercen los pernos.
- d. Daño generalizado ( $ds_4$ ): Las columnas se degradan sin colapsar (columnas estructuralmente inseguras), las conexiones pierden parcialmente su capacidad soportante y se da un asentamiento mayor en los accesos.
- e. Daño total ( $ds_5$ ): Las columnas colapsan y las conexiones pierden toda su capacidad soportante, lo que implica un inminente colapso de la losa de sitio.

## 3. Funciones de daños de puentes

Para las categorías principales de puente los estados de daño son identificados y descritos con referencia al tipo de daño que ocurre en los sub componentes, tales como bastiones, losa de piso, accesos y conexiones. Las curvas de fragilidad de puentes clasificados como de alto riesgo son ajustadas para reflejar el comportamiento desfavorable que se espera de estas estructuras. En la Figura 13 se muestran curvas de fragilidad de los componentes que se adicionan para obtener la curva correspondiente al puente.

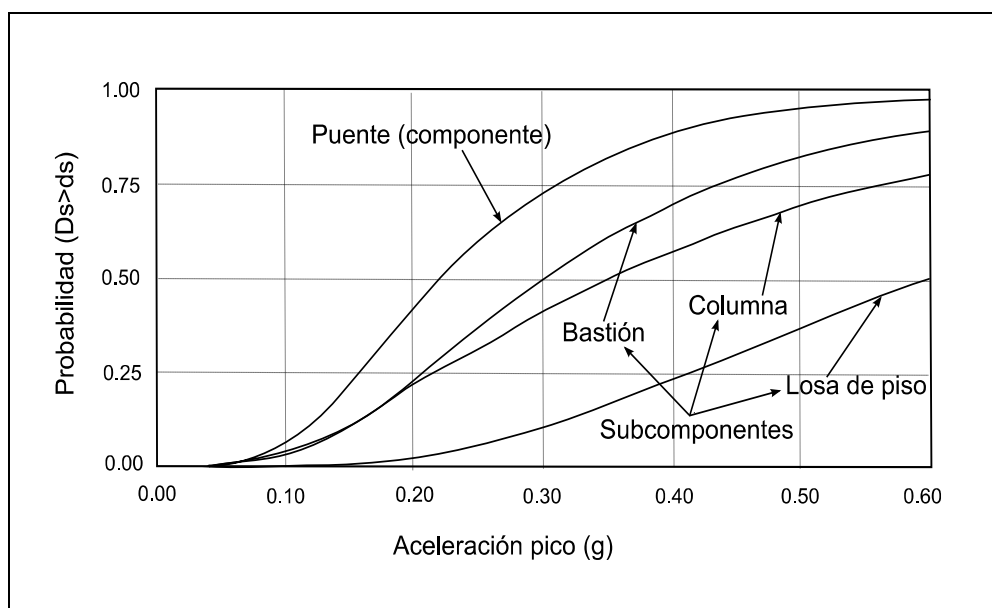


Figura 13 Relación entre la curva de fragilidad de un puente y las de sus componentes.

(Bravo y Calvo, 1997; adaptada de Castro, 2005).

Las curvas de fragilidad son la representación gráfica de las funciones de daño mostradas en la Tabla 5 de acuerdo con la clasificación de los puentes y en función de la aceleración pico del terreno.

Tabla 5 Valor medio de aceleración pico como función de los daños en los puentes.

(Bravo y Calvo, 1997; Castro, 2005).

Daño	Mediana de la aceleración pico del terreno (fracción de g)			
	Daño menor (ds <sub>2</sub> )	Daño moderado (ds <sub>3</sub> )	Daño generalizado (ds <sub>4</sub> )	Daño total (ds <sub>5</sub> )
HBR1	0,38	0,46	0,64	1,50
HBR2	0,32	0,43	0,55	1,25
HBR3	0,28	0,42	0,55	1,20
HBR4	0,18	0,37	0,48	0,90
HBR5	0,22	0,34	0,39	0,85
HBR6	0,11	0,22	0,26	0,60
HBR7	0,30	0,37	0,50	1,20
HBR8	0,26	0,34	0,44	1,00
HBR9	0,22	0,34	0,44	0,96
HBR10	0,14	0,30	0,38	0,72
HBR11	0,18	0,27	0,31	0,68
HBR12	0,09	0,18	0,21	0,48

La Tabla 6 resume los criterios de vulnerabilidad para puentes según el daño asignado para las aceleraciones esperadas para periodos de retorno de 100 y 500 años.

Tabla 6 Criterios de vulnerabilidad para puentes.

(Vargas, 2005; Castro, 2005).

	<b>Daño asignado (T* = 100 años)</b>	<b>Daño asignado (T = 500 años)</b>	<b>Vulnerabilidad</b>
<b>Tipo de daño según metodología de RMS</b>	Generalizado	Generalizado	Muy alta
	Moderado	Generalizado	Alta
	Moderado	Moderado	Media
	Moderado	Menor	Baja
	Menor	Menor	Muy baja

\*T: periodo de retorno.

## 4. Resultados de la Evaluación del Proyecto San José – Caldera, Ruta 27, año 2010

### 4.1 Capacidad estructural. Deflexiones del proyecto obtenidas mediante FWD

#### 4.1a. *Criterios de clasificación*

La evaluación del proyecto con el deflectómetro de impacto abarcó la totalidad de su longitud, es decir 153 km<sup>(3)</sup> de carretera pavimentada en ambos sentidos con mediciones cada 200 metros. En aquellos tramos con un carril por sentido fueron evaluados ambos carriles y en aquellos tramos con dos carriles por sentido se evaluó el carril derecho, considerado el carril de diseño por ser el que resiste las mayores concentraciones de carga vehicular y considerando homogeneidad en la condición estructural en el sentido transversal de las secciones evaluadas

Como parte de las investigaciones realizadas en el 2008 en el LanammeUCR, se desarrolló una metodología para calcular los distintos rangos de deflectometría superficial con base en la estructura de pavimento que presenta cada tramo de carretera <sup>(4)</sup>. Estos rangos, que aparecen en la Tabla 2, tienen por objeto calificar la condición estructural del proyecto tomando en consideración el diseño estructural realizado por el Concesionario, por lo que fueron utilizados en la presente evaluación para clasificar los resultados.

Tabla 7 Rangos de deflexión, utilizados para clasificar resultados de deflectometría

Tramo	San José - Escazú (0+000 – 3+605)	Escazú – Ciudad Colón (3+605 – 14+025)	Ciudad Colón - Orotina (14+025 – 51+720)	Orotina - Caldera (51+720 – 76+310)
<b>Categorías deflexión</b>	<b>Rangos (en mm<sup>-2</sup>)</b>			
Bajas	menor a 52	menor a 36	menor a 47	menor a 50
Moderadas	52 – 57	36 – 40	47 – 52	50 – 58
Altas	57 – 71	40 – 49	52 – 66	58 – 80
Muy Altas	mayor a 71	mayor a 49	mayor a 66	mayor a 80

Los rangos presentados no aplican para rutas en concreto hidráulico, dado el tipo de diseño, construcción y comportamiento que conllevan estos pavimentos.

<sup>3</sup> Dentro de este total no se incluyen los tramos fuera del troncal principal del proyecto

<sup>4</sup> El informe Determinación de rangos de clasificación para la red vial nacional, UI-03-08, del LanammeUCR explica la metodología para establecer los rangos de FWD e IRI para clasificar el proyecto. Los rangos de FWD fueron calculados específicamente para este proyecto tomando en consideración las distintas estructuras del pavimento.

4.1b. Resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría FWD. Mediciones realizadas en el sentido San José – Caldera. Mese de junio y julio 2010.

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos en el parámetro de deflexiones superficiales, para la campaña 2010; la Figura 14 muestra en forma gráfica este resultado. En total, se procesaron más de 380 mediciones con dicho equipo en este sentido.

Tabla 8 Deflexiones FWD obtenidas para el proyecto San José - Caldera, campaña 2010

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Muy Bajas	70.8	92.4
Bajas	0.74	3.7
Moderadas	0.62	3.1
Altas	0.2	0.3
Muy Altas	0.4	0.5
<b>Total</b>	<b>72.76</b>	<b>kilómetros</b>

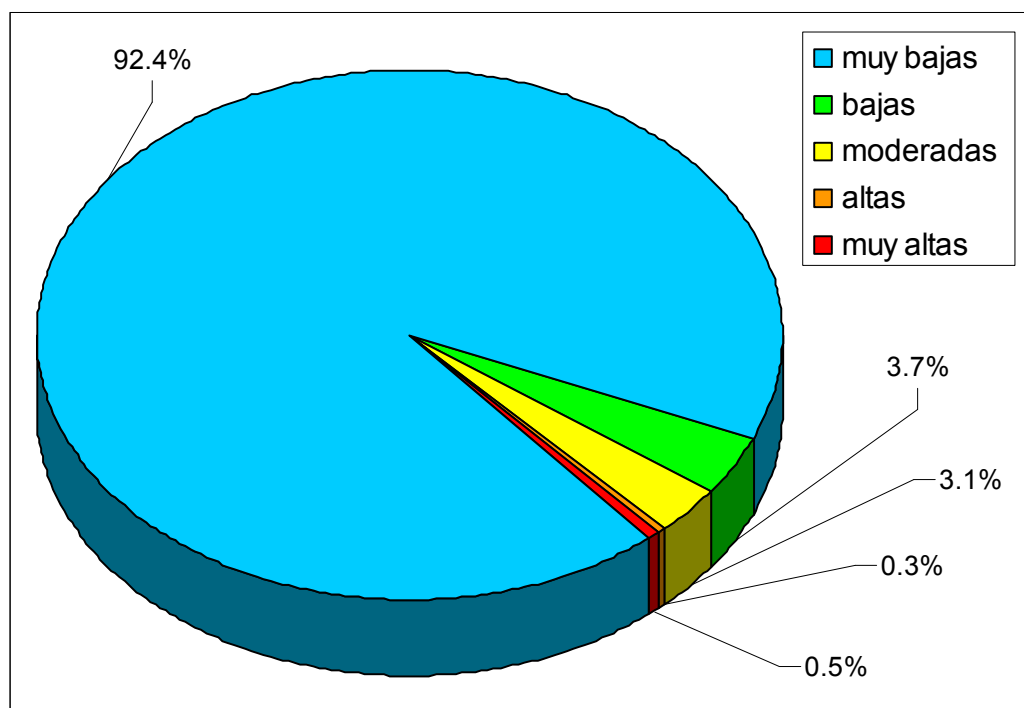


Figura 14 Estado general de la capacidad estructural sentido San José - Caldera según los valores de deflexión (FWD,2010).



4.1c. Resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría FWD. Mediciones realizadas en el sentido Caldera – San José. Mese de junio y julio 2010.

La Tabla 9 muestra los resultados obtenidos en el parámetro de deflexiones superficiales en el sentido Caldera – San José; la Figura 15 muestra en forma gráfica este resultado. En total, se procesaron más de 370 mediciones con dicho equipo en este sentido.

Tabla 9 Deflexiones FWD obtenidas para el proyecto Caldera – San José, campaña 2010

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Muy Bajas	70.8	91.0
Bajas	0.74	4.7
Moderadas	0.62	3.7
Altas	0.2	0.5
Muy Altas	0.0	0.0
<b>Total</b>	<b>72.76</b>	<b>kilómetros</b>

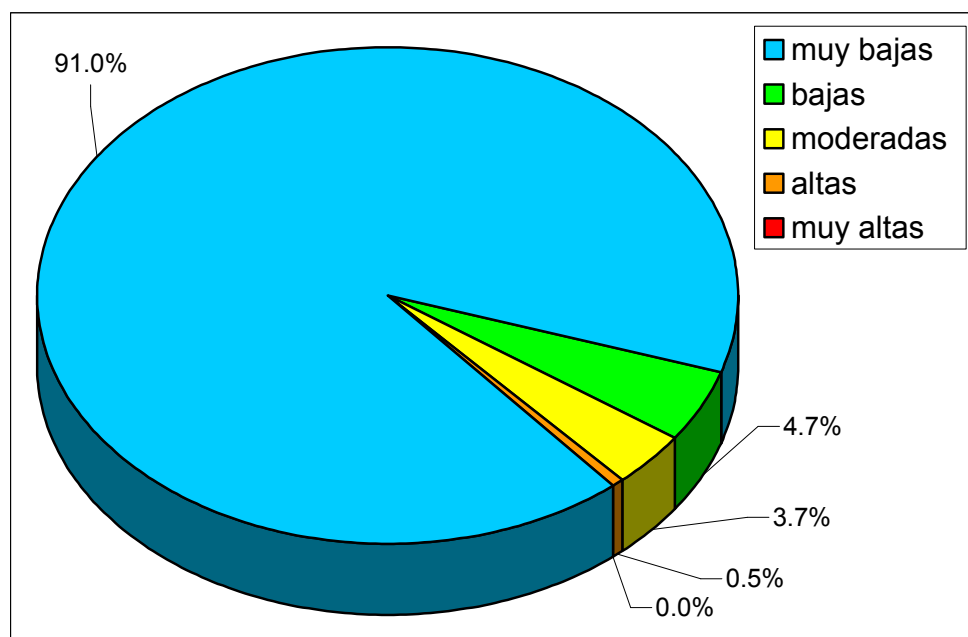


Figura 15 Estado general de la capacidad estructural sentido Caldera – San José, según los valores de deflexión (FWD,2010).

*4.1d. Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría FWD. Mese de junio y julio 2010.*

Los resultados de la deflectometría de impacto revelan un pavimento con una muy buena capacidad estructural en la mayor parte del ramal principal del proyecto. Esta valoración estructural representa el estado estructural del pavimento hasta el momento de la medición, es decir hasta los meses de junio y julio del 2010. Estas mediciones pueden variar posteriormente en magnitudes significativas con los cambios de temperatura durante épocas muy cálidas y con las variaciones de los niveles de humedad en las capas de base, sub-base y sub razante. Las mediciones que se realicen durante el año 2011 y años subsiguientes revelarán los efectos de estas variaciones en la pérdida o mantenimiento de la capacidad estructural de este proyecto en el sentido San José – Caldera.

En el caso de hundimientos en la vía que son producto de debilidades de los rellenos sobre los cuales fueron construidos los pavimentos evaluados no es posible detectarlos con el FWD. Estas fallas del pavimento se manifiestan por medio de asentamientos de secciones completas y su valoración queda sujeta a estudios de tipo geotécnico que serán objeto de análisis en otro informe emitido por el LanammeUCR en diciembre de 2010.

La ubicación exacta de los puntos de deflectometría de impacto se presenta en los mapas de la evaluación estructural en la sección 4.2. En la siguiente tabla se resumen los estacionamientos donde se localizaron puntos con deflectometrías de moderadas a altas y muy altas.

Tabla 10 Ubicación de estacionamientos de deflectometría de impacto (FWD)

<b>Estación</b>	<b>Deflexiones</b>
4+200	moderadas a altas
24+400	moderadas a muy altas
65+000 a 65+600	moderadas a muy altas
66+500	moderadas a muy altas
68+150	moderadas a muy altas

## **4.2 Mapas con los resultados de mediciones de la deflectometría de impacto**

Las Figuras 16 a 21 presentadas a continuación, muestran los resultados de la evaluación con el deflectómetro de impacto.

Resultados obtenidos de deflectometría, Ruta 27, tramo San José - Caldera

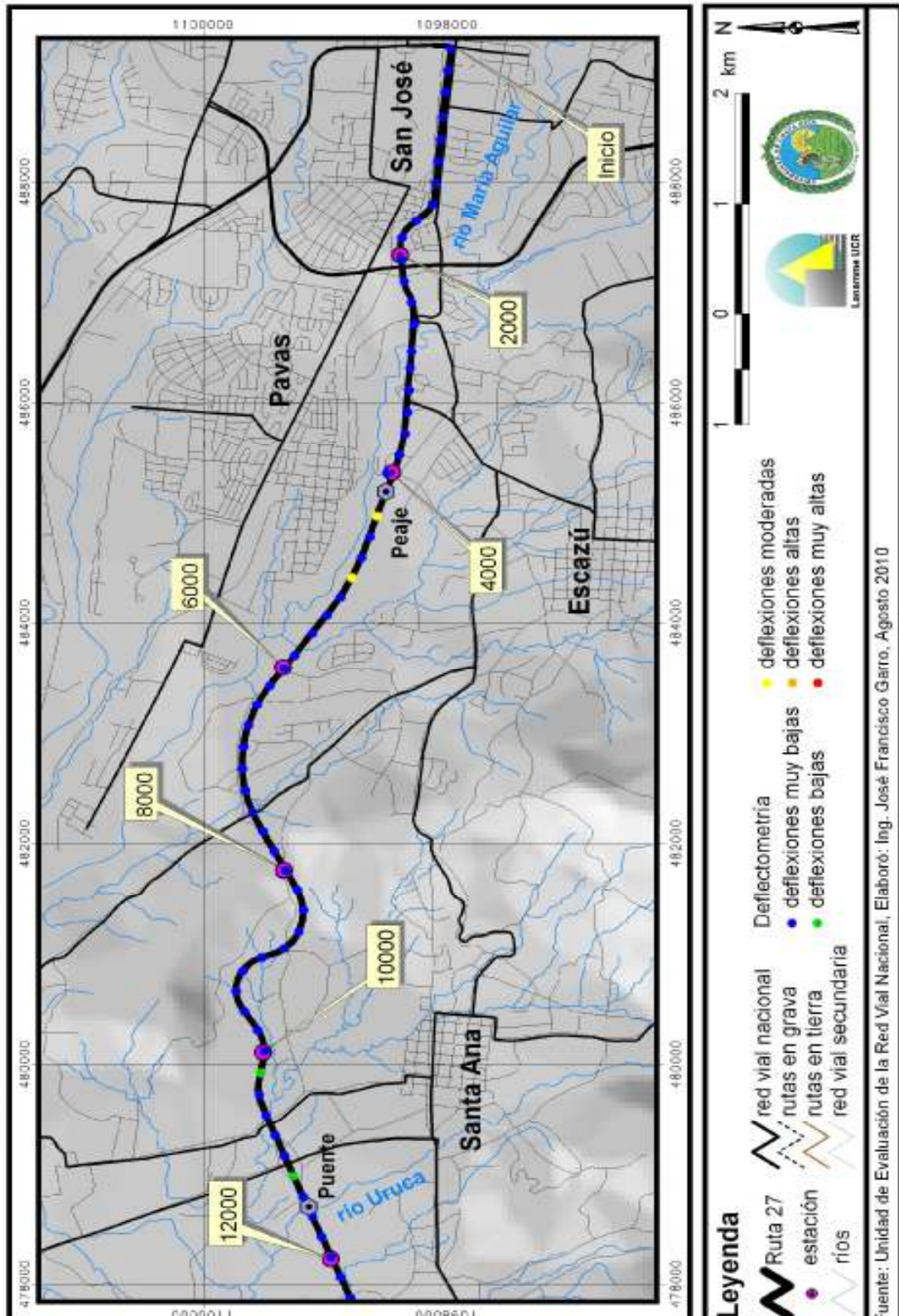


Figura 16 Resultados obtenidos de deflectometría de impacto, estacionamiento 0+000 – 12+000

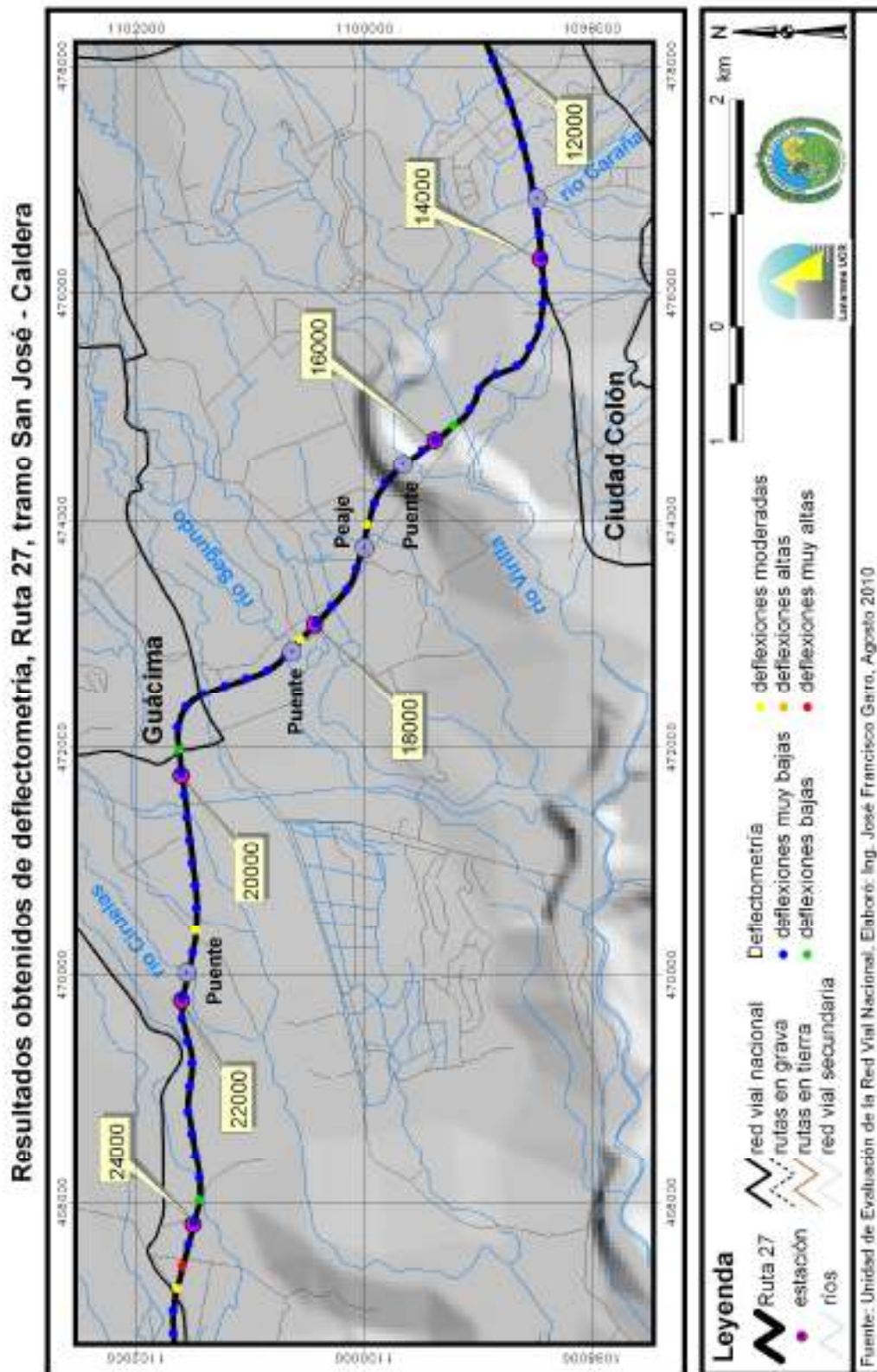


Figura 17 Resultados obtenidos de deflectometría de impacto, estacionamiento 12+000 – 24+000

Resultados obtenidos de deflectometría, Ruta 27, tramo San José - Caldera

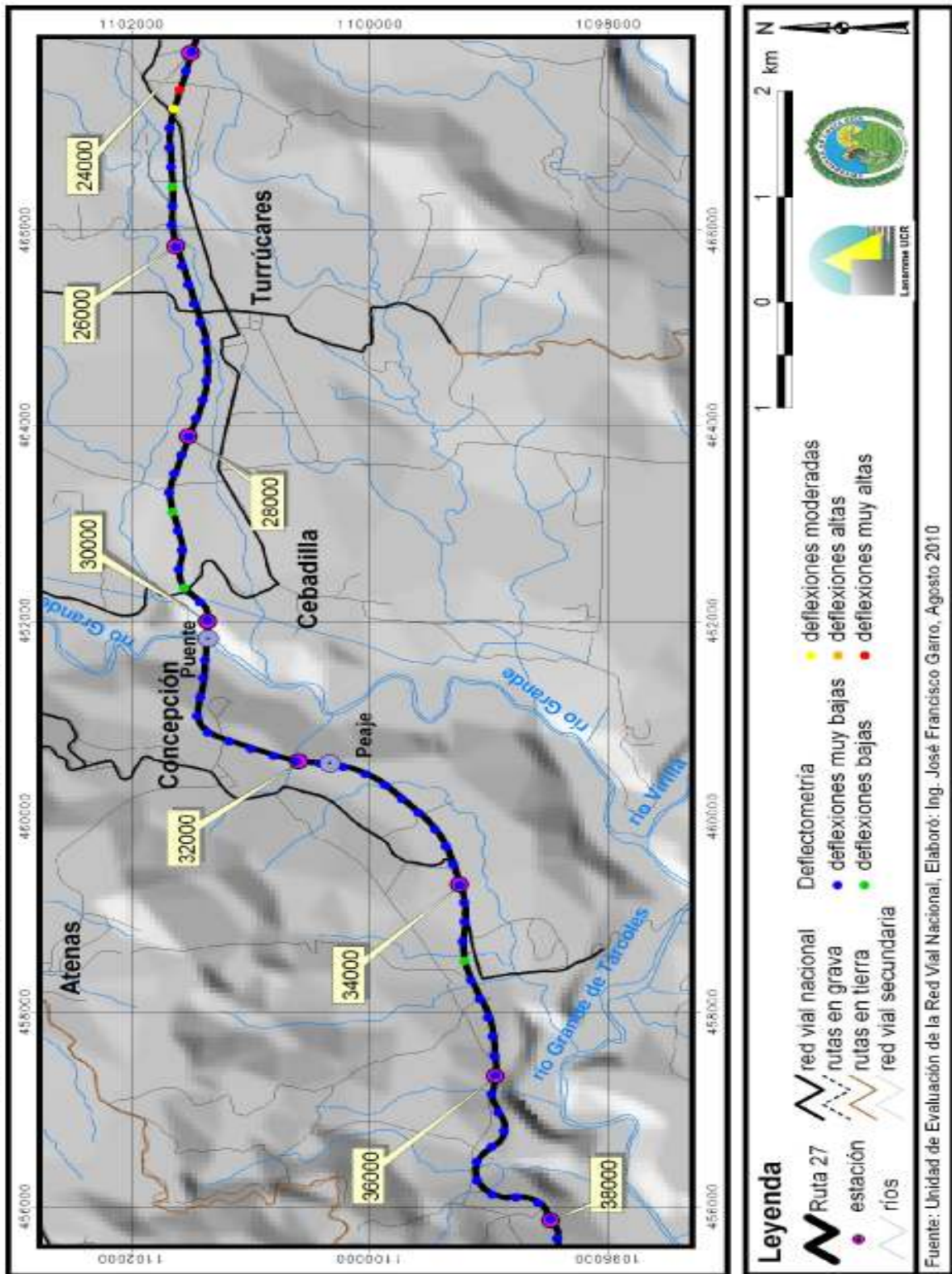


Figura 18 Resultados obtenidos de deflectometría de impacto, estacionamiento 24+000 – 38+000

Resultados obtenidos de deflectometría, Ruta 27, tramo San José - Caldera

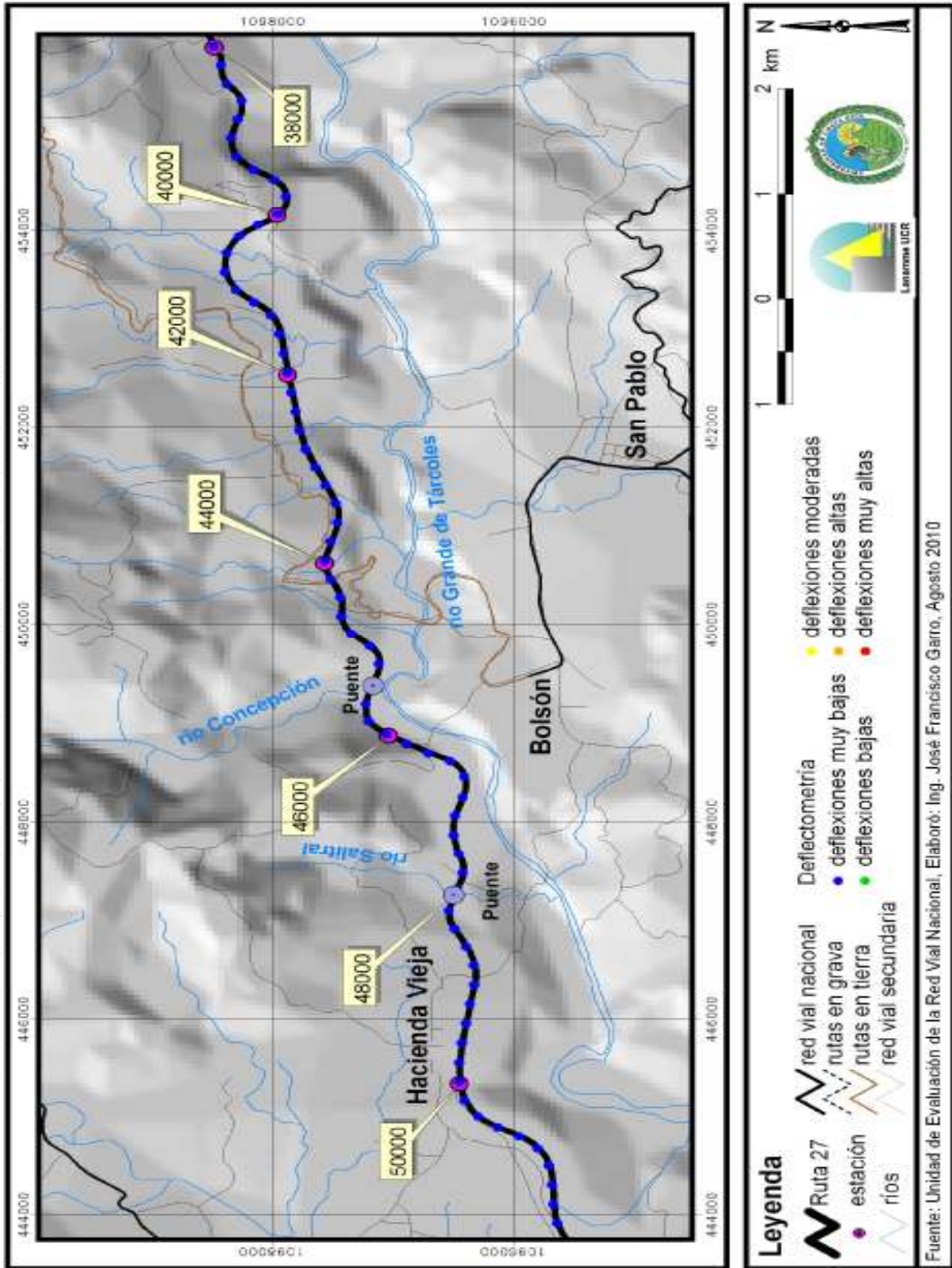


Figura 19 Resultados obtenidos de deflectometría de impacto, estacionamiento 38+000 – 50+000

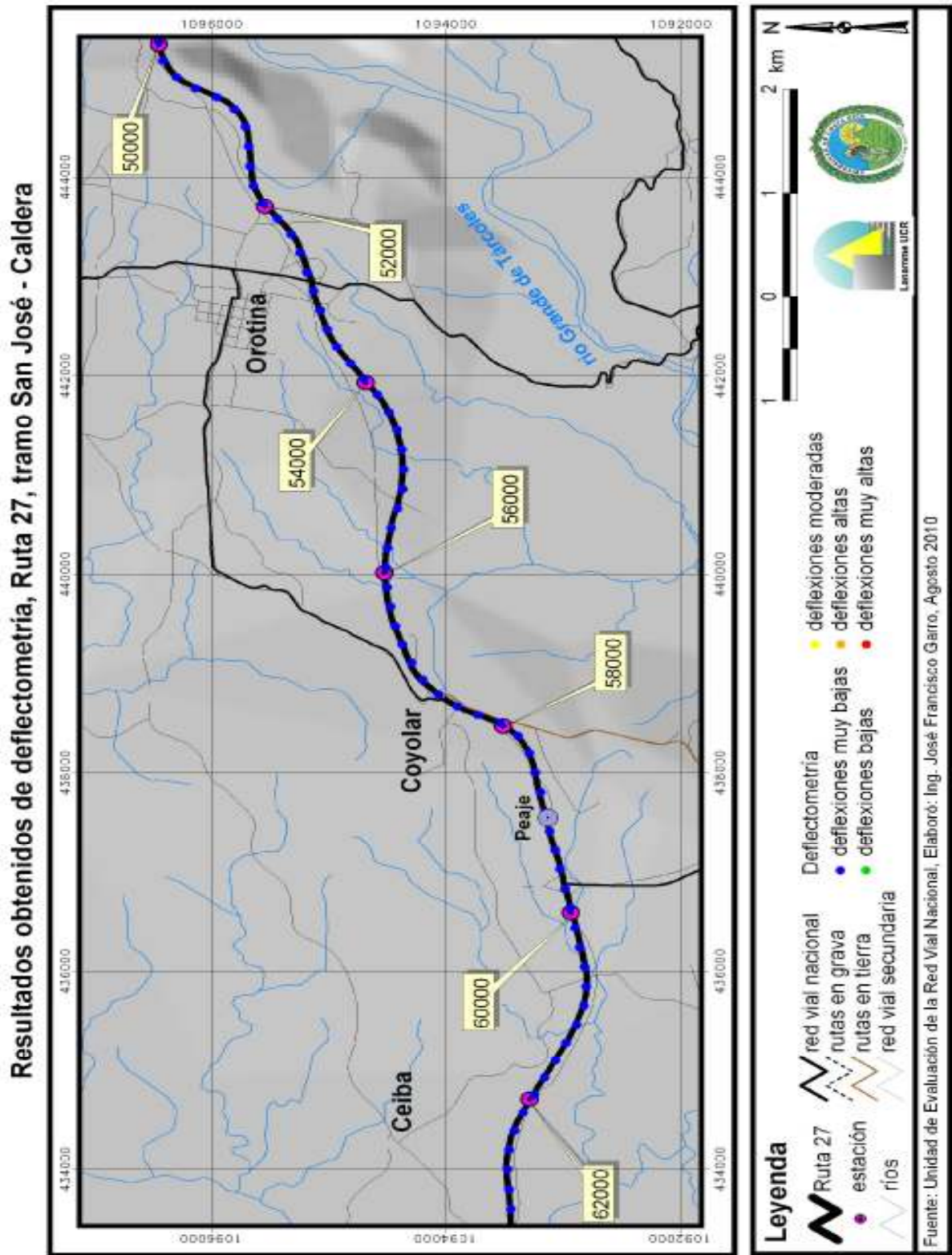


Figura 20 Resultados obtenidos de deflectometría de impacto, estacionamiento 50+000 – 62+000

Resultados obtenidos de deflectometría, Ruta 27, tramo San José - Caldera

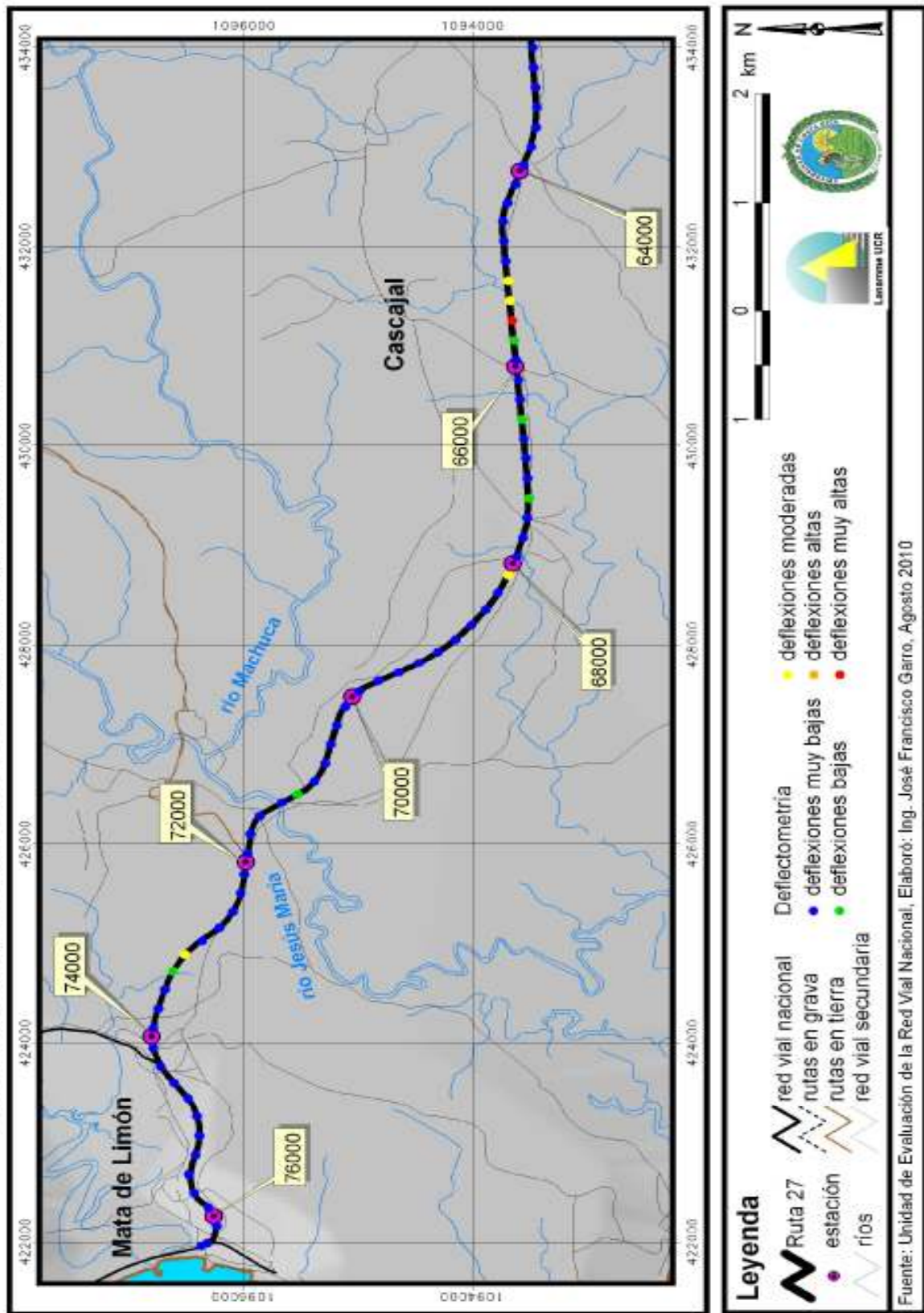


Figura 21 Resultados obtenidos de deflectometría de impacto, estacionamiento 50+000 – 62+000



### 4.3 Condición del proyecto según regularidad superficial (IRI)

#### 4.3a. *Criterios de clasificación*

La evaluación del proyecto con el Perfilómetro Láser abarcó la totalidad de la longitud de la troncal principal en ambos sentidos. Debido a la importancia del IRI para calificar la calidad de un proyecto vial, se midió el perfil longitudinal en dos momentos distintos, durante el mes de julio de 2010 y durante el mes de octubre de 2010. Por medio de estas mediciones en dos momentos distintos es posible, no solo medir el nivel de la condición funcional, sino que también es posible detectar la pérdida de serviciabilidad en el proyecto en un periodo corto de tiempo.

Es importante recordar que el IRI se correlaciona, entre otros factores, con los costos de operación vehicular, la movilidad de los usuarios y el confort.

Los rangos de regularidad superficial de pavimentos utilizados para clasificación de estado, se muestran en la Tabla 11:

Tabla 11 Rangos de clasificación de regularidad superficial (IRI)

<b>rango de regularidad m / km</b>	<b>clasificación</b>
menor a 1,0	regularidad superficial muy buena
entre 1,0 y 1,9	regularidad superficial buena
entre 1,9 y 3,6	regularidad superficial regular
entre 3,6 y 6,4	regularidad superficial deficiente
mayor a 6,4	regularidad superficial muy deficiente

Fuente: Determinación de rangos de clasificación para la red vial nacional, UI-03-08, LanammeUCR, 2008

Los datos del perfil longitudinal están procesados en tramos de 100 metros de longitud, y representan el promedio de los valores de IRI para los sensores izquierdo y derecho del Perfilómetro Láser; esto debido a que estos sensores son los que toman los datos de la huella de rodamiento de los vehículos en la carretera.

4.3b. *Comparación de resultados de regularidad superficial (IRI). Sentido San José – Caldera*

La Tabla 12 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial con perfilómetro láser del proyecto en los meses de julio 2010 y octubre 2010; la Figura 22 muestra en forma gráfica la evolución de dicha condición.

Tabla 12 Comparación de resultados obtenidos, regularidad superficial del proyecto, sentido San José - Caldera

Rango de IRI	Longitud (km) julio 2010	%	Longitud (km) octubre 2010	%
0 - 1,0 m/km	7,8	10,2	5,6	7,3
1,0 - 1,9 m/km	61,6	80,4	62,5	81,4
1,9 - 3,6 m/km	5,9	7,7	7,2	9,4
3,6 - 6,4 m/km	1,1	1,4	1,2	1,6
Mayor 6,4 m/km	0,2	0,3	0,3	0,4
<b>Total</b>	<b>76,6</b>	<b>kilómetros</b>	<b>76,8</b>	<b>kilómetros</b>

### Índice de Regularidad Internacional (IRI)

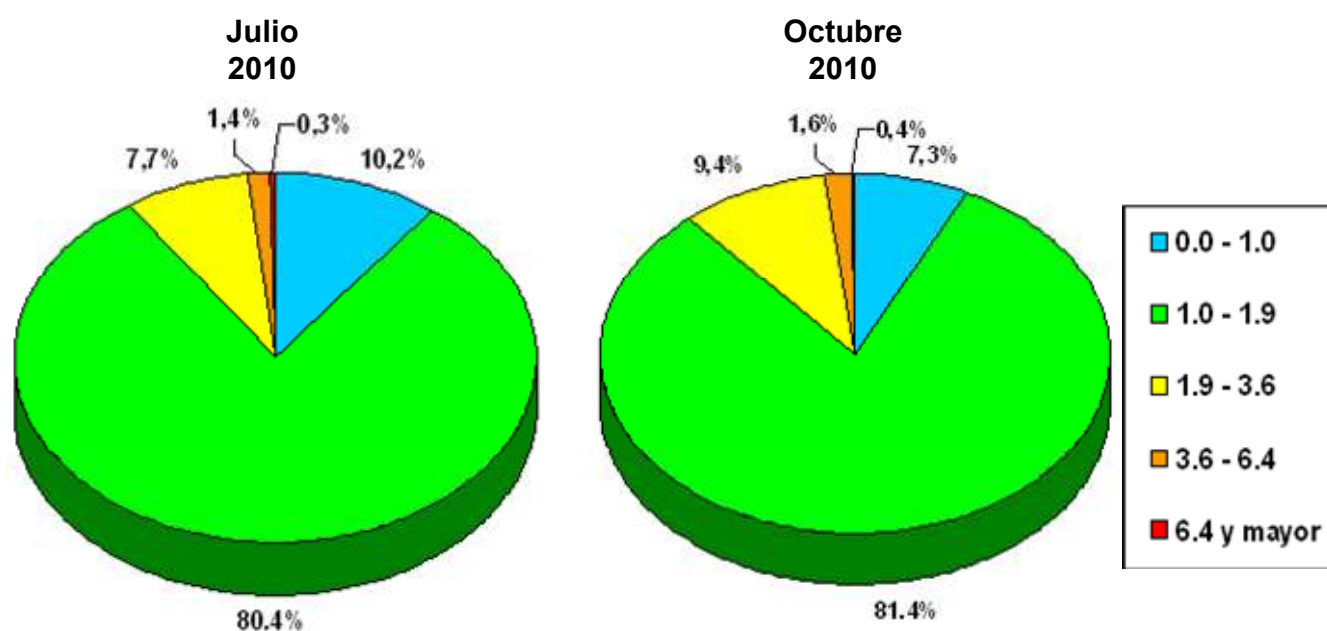


Figura 22 Gráficos comparativos del estado del proyecto, sentido San José – Caldera, según regularidad superficial (parámetro IRI).

#### 4.3c. Comparación de resultados de regularidad superficial (IRI). Sentido Caldera - San José

La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial con perfilómetro láser del proyecto en los meses de julio 2010 y octubre 2010; la Figura 23 muestra en forma gráfica la evolución de dicha condición.

Tabla 13 Comparación de resultados obtenidos, regularidad superficial del proyecto, sentido Caldera - San José.

Rango de IRI	Longitud (km) julio 2010	%	Longitud (km) octubre 2010	%
0 - 1,0 m/km	5,1	6,7	3,3	4,7
1,0 - 1,9 m/km	64,4	84,1	64,0	83,3
1,9 - 3,6 m/km	5,8	7,6	7,5	9,8
3,6 - 6,4 m/km	1,3	1,7	1,7	2,2
Mayor 6,4 m/km	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Total</b>	<b>76,6</b>	<b>kilómetros</b>	<b>76.8</b>	<b>kilómetros</b>

### Índice de Regularidad Internacional (IRI)

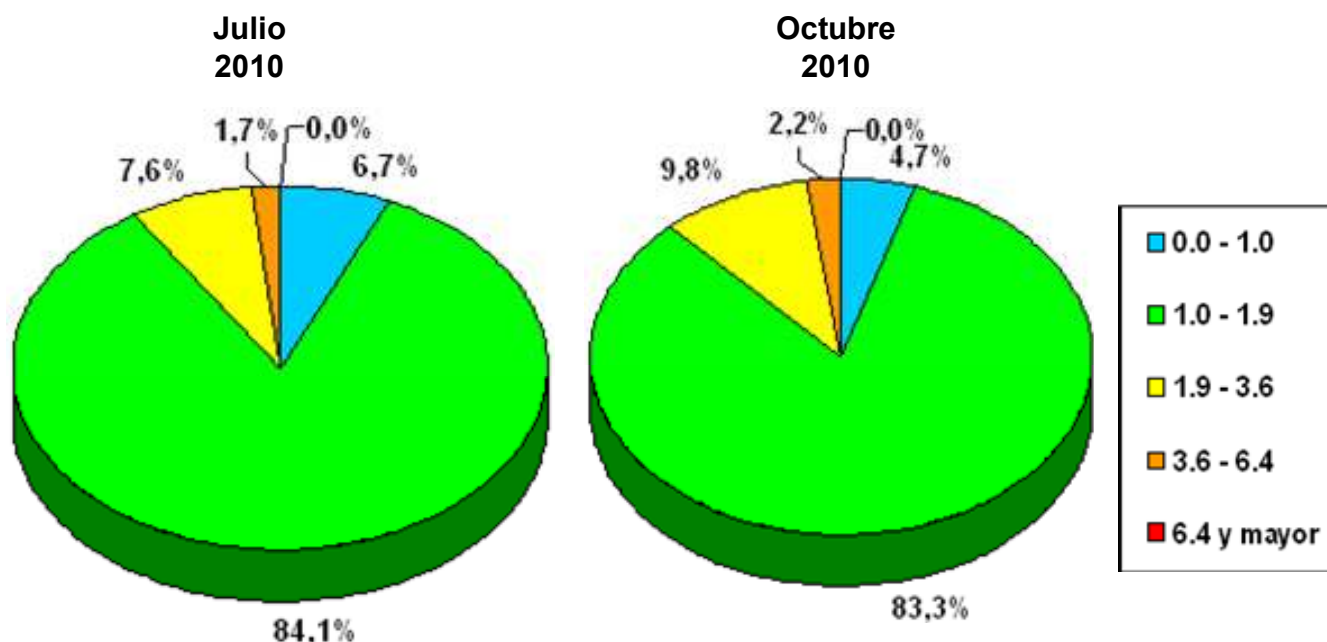


Figura 23 Gráficos comparativos del estado del proyecto, sentido Caldera - San José, según regularidad superficial (parámetro IRI).

La ubicación exacta de los tramos de IRI se presenta en los mapas de la evaluación funcional en la sección 4.5. En la siguiente tabla se resumen los estacionamientos donde se localizaron los principales puntos con valores de regularidad superficial (IRI) cercanos o superiores a 3.5.

Tabla 14 Ubicación de estacionamientos con problemas de regularidad superficial (IRI)

Estacionamientos	Rangos de IRI	Descripción Funcional
2+900 a 4+200 15+800 a 16+200* 21+400 a 21+600* 29+800 a 30+300* 31+800 44+200 a 44+500 45+300* 46+600 a 46+800 48+000* 59+000 64+900 a 66+000 67+300 a 67+800 75+800 a 76+300	(1,9 – 3,6 y 3,6 – 6,4 <sup>m</sup> /km)  Segmentos de regularidad de moderada a mala	<p><b>IRI entre (1,9 y 3,6):</b> Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria.</p> <p><b>IRI entre (3,6 y 6,4):</b> En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento.</p>

\* Estos segmentos coinciden con la ubicación de algunos de los puentes del proyecto. El puente en sí mismo es considerado una "singularidad" y no es tomado en cuenta en la valoración funcional, sin embargo, las aproximaciones de los puentes si son sujeto de análisis cuando son medidas en el sentido de circulación del equipo, es decir antes de llegar al puente y por lo tanto la presencia del puente no incide en el valor del IRI para la zona de aproximación.

#### 4.5 Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad funcional con el deflectómetro de impacto (IRI). Meses de julio y octubre 2010.

Los resultados de la valoración funcional del proyecto muestran un estado calificado en más de un 88% como "bueno", no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria.

Un 12% de la troncal principal es calificado con valores donde la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito, aumentos en los costos de operación vehicular y disminución de la durabilidad del proyecto al

aumentar el número de cargas dinámicas sobre el pavimento. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento.

Es notable como el nivel capacidad funcional es inferior en el sentido Caldera – San José, condición que es consistente con la presencia de mayores vehículos pesados que transitan en este sentido de circulación.

Sobre el desempeño del proyecto, los análisis muestran como en julio de 2010 la trocal principal del proyecto mostraba un 90,6% de su superficie con valores en el índice de serviciabilidad presente (PSI) superiores a 3,2, considerado en un rango de “bueno” a “muy bueno”, sin embargo, en las mediciones realizadas en octubre 2010, tres meses después, el porcentaje de pavimento que calificaba con esta condición disminuyó a un 88,6%, lo que significó una pérdida de serviciabilidad considerable y acelerada para un proyecto con 10 mese de servicio y con una vida útil proyectada de 25 - 30 años.

#### **4.6 Mapas con los resultados de mediciones del perfil longitudinal (IRI)**

Las Figuras 24 a 29 presentadas a continuación, muestran los resultados de la evaluación con el perfilómetro láser.

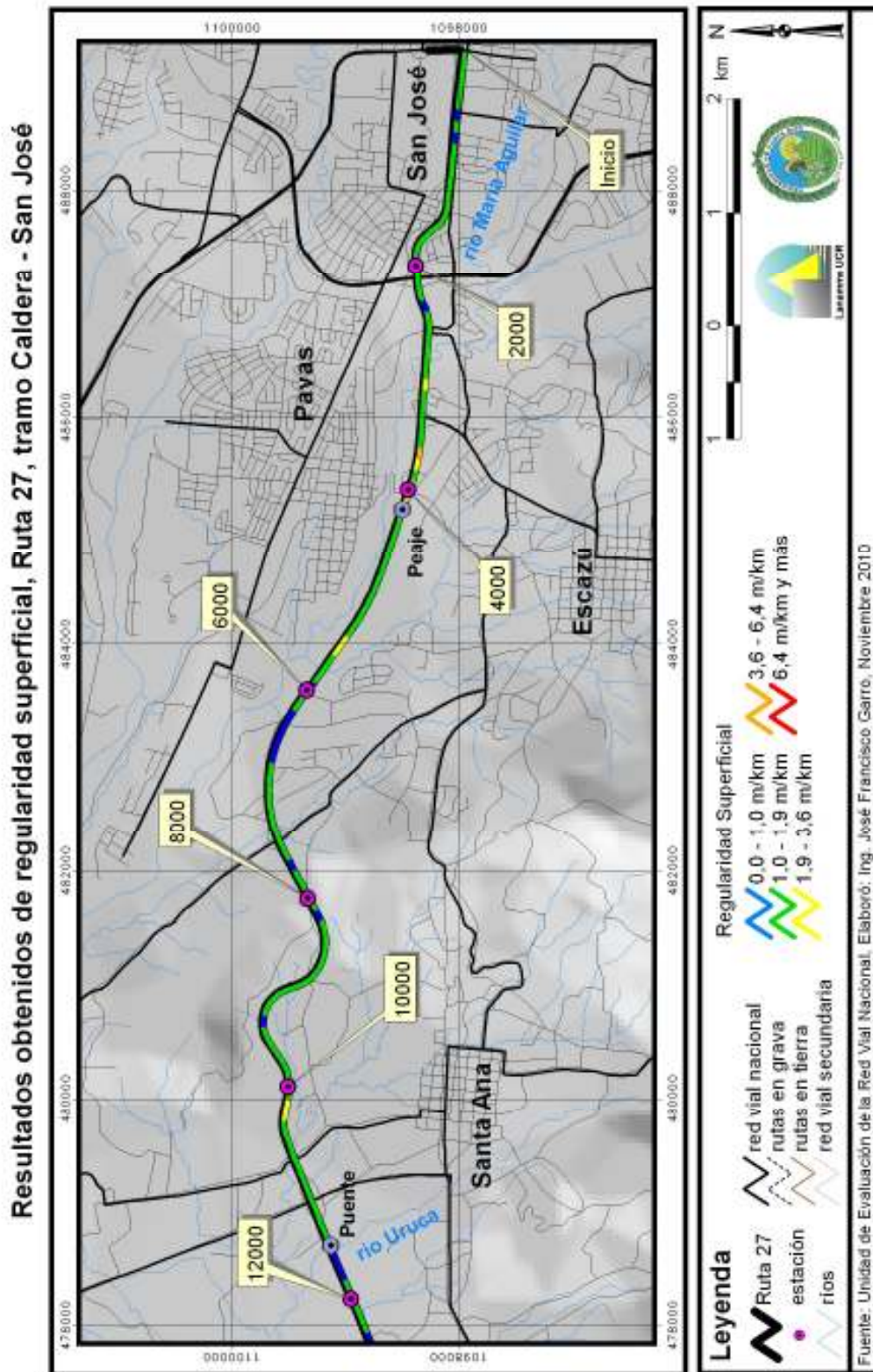


Figura 24 Resultados obtenidos de IRI, estacionamiento 0+000 – 12+000

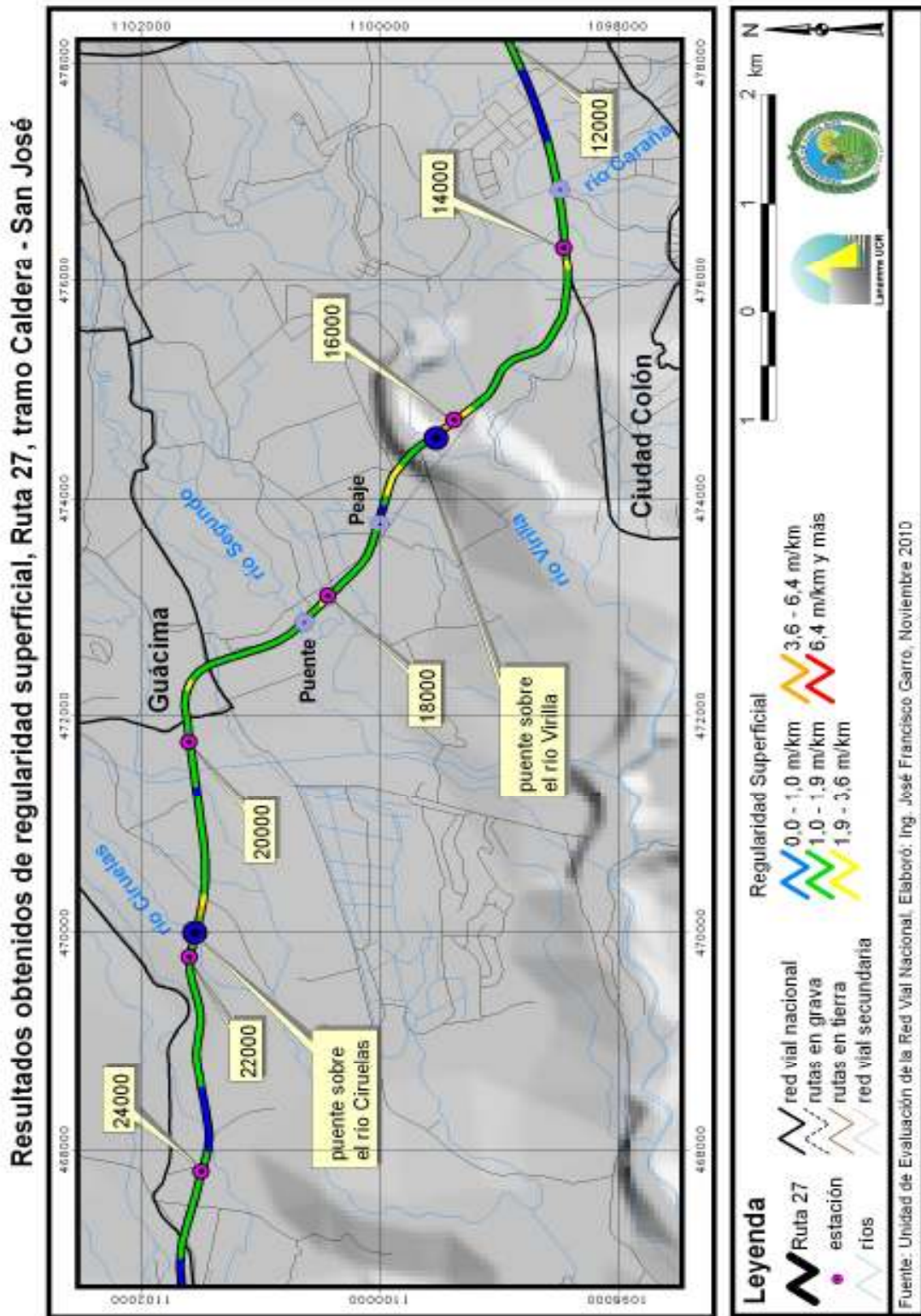


Figura 25 Resultados obtenidos de IRI, estacionamiento 12+000 – 24+000

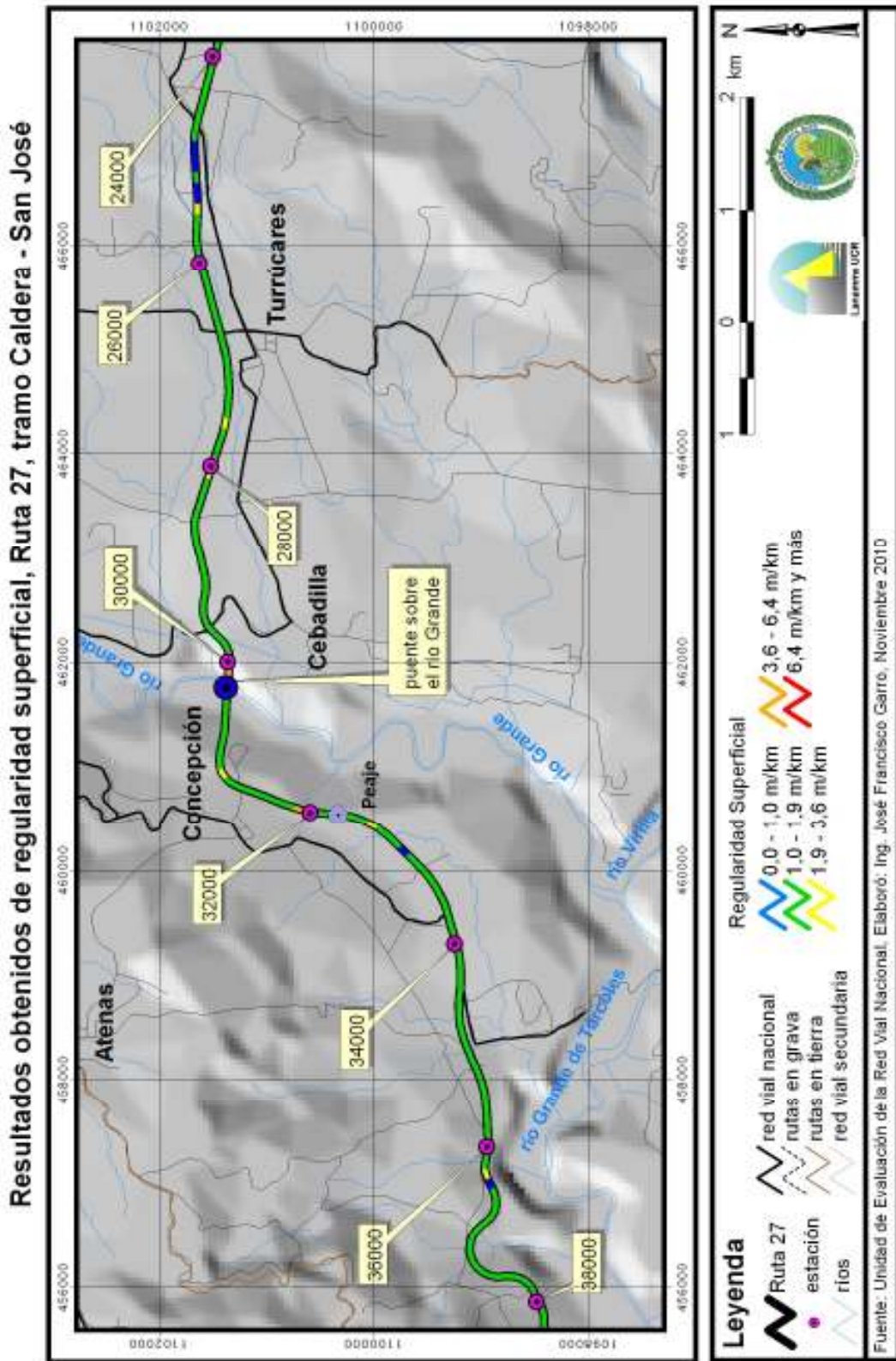


Figura 26 Resultados obtenidos de IRI, estacionamiento 24+000 – 38+000



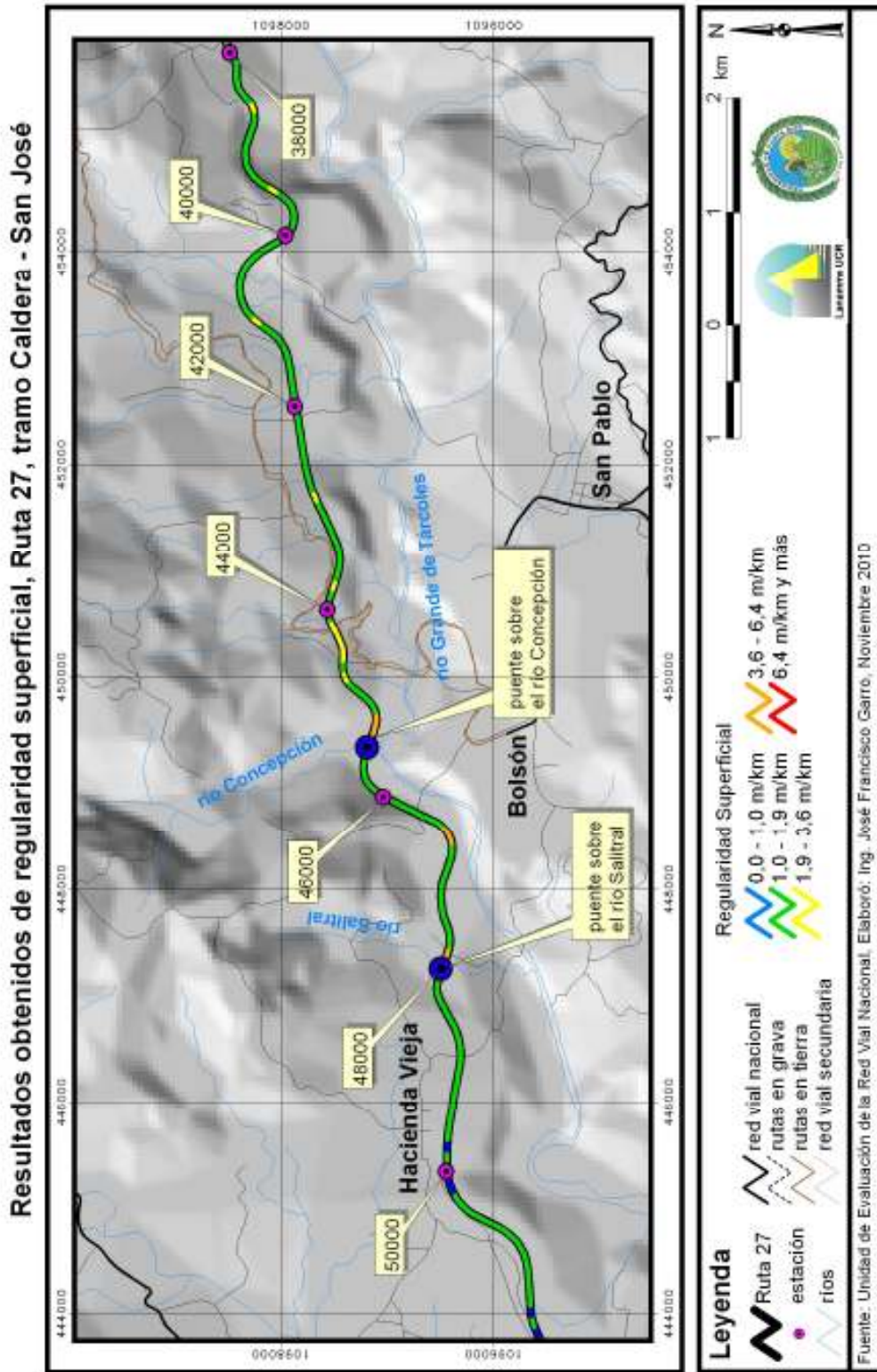


Figura 27 Resultados obtenidos de IRI, estacionamiento 38+000 – 50+000

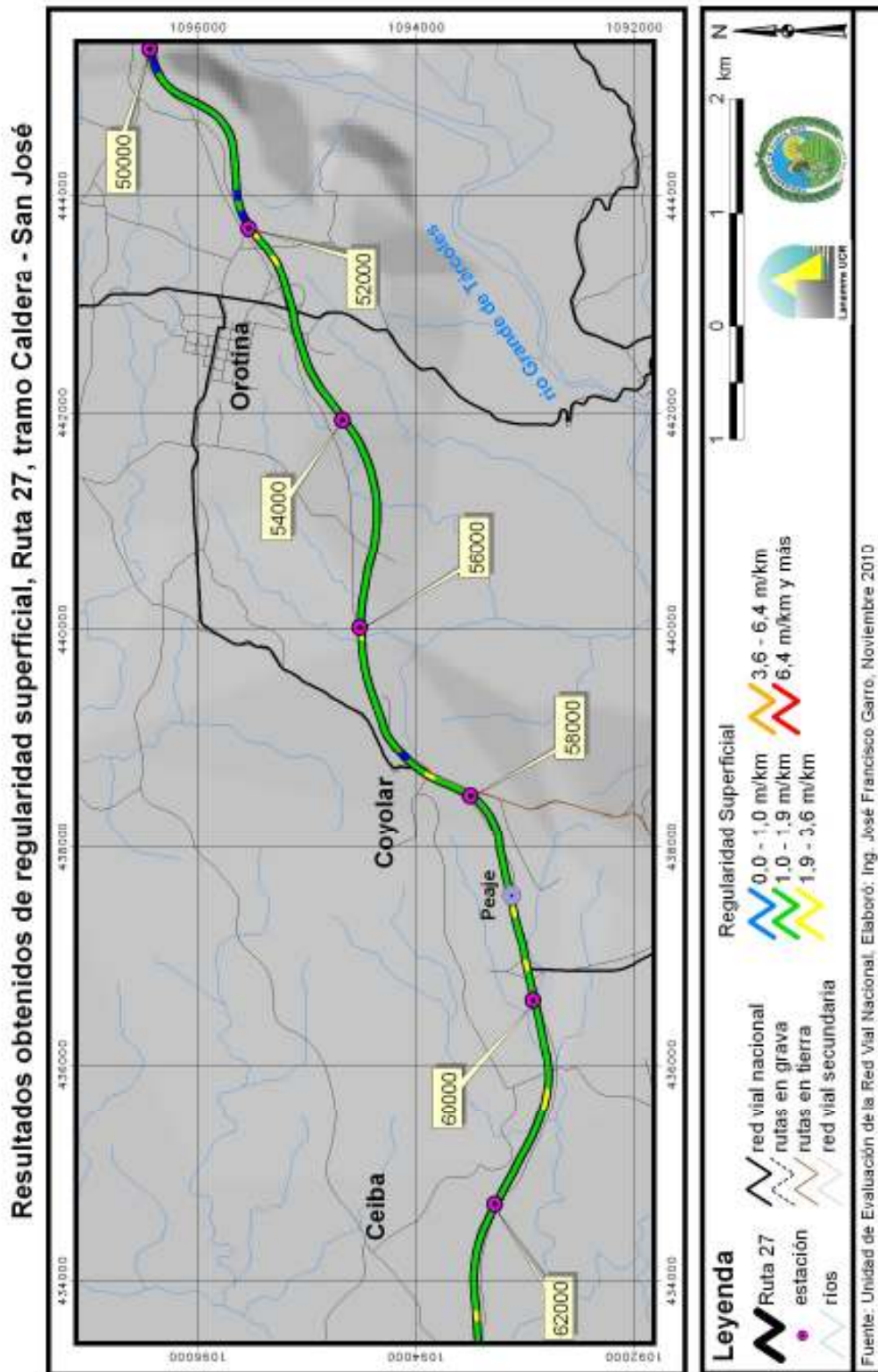


Figura 28 Resultados obtenidos de IRI, estacionamiento 50+000 – 62+000

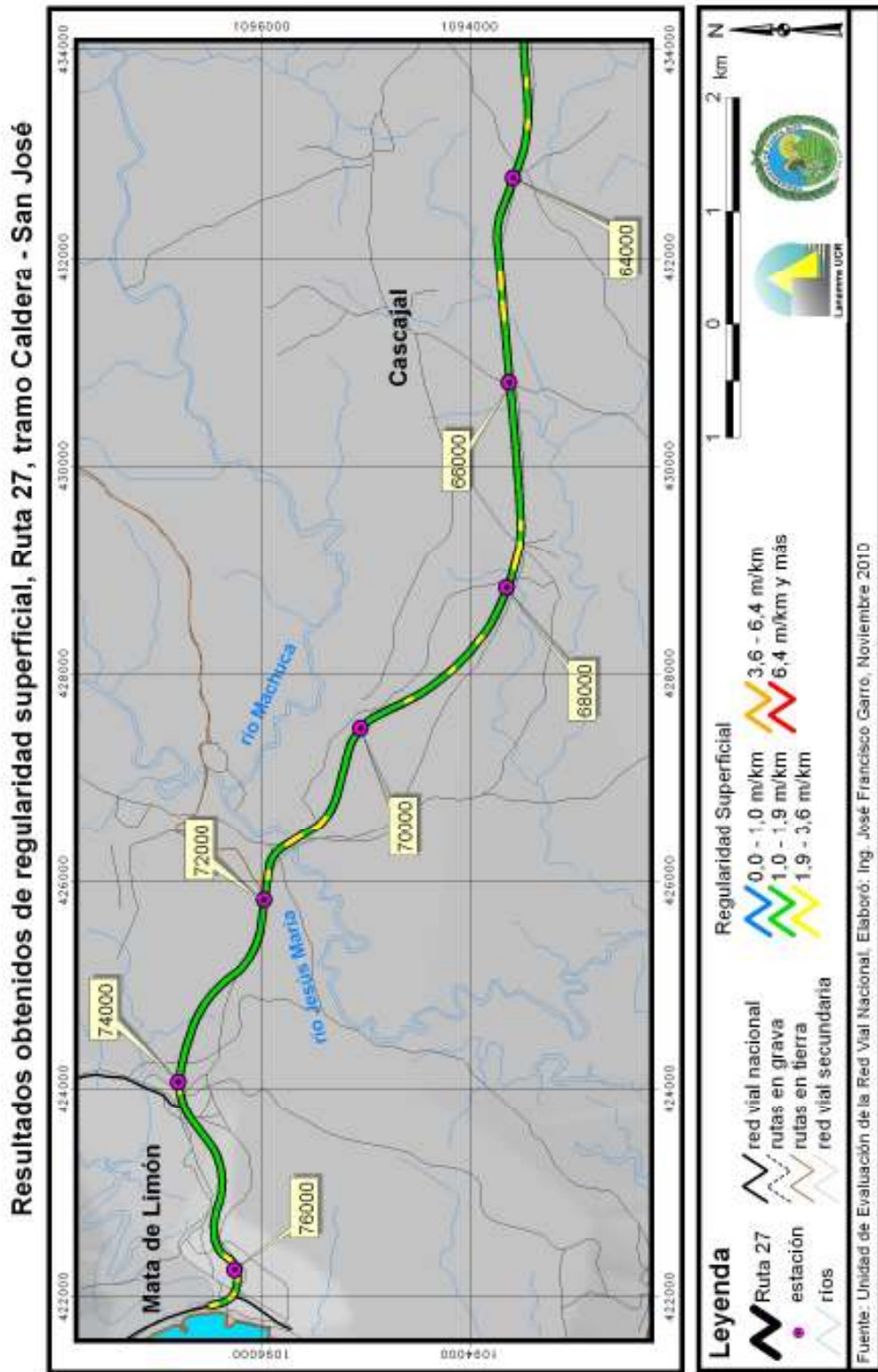


Figura 29 Resultados obtenidos de IRI, estacionamiento 62+000 – 76+000

#### 4.7 Condición del proyecto San José – Caldera según coeficiente de rozamiento de pavimentos (GRIP). Ensayos realizados en Julio 2010.

##### 4.7a. *Criterios de clasificación*

La evaluación del proyecto San José – Caldera con el medidor de rozamiento superficial abarcó la totalidad de la superficie pavimentada de la troncal principal; para lo cual fue preciso realizar primero la medición de regularidad superficial (IRI), esto debido principalmente a la naturaleza del equipo: para mantener su precisión no puede ser utilizado en tramos que presenten un valor de IRI mayor de 4,0; de no mantener este cuidado, el equipo perdería su calibración rápidamente. Todas las mediciones se realizan a una velocidad promedio de 50 km/hora.

El rango de clasificación que se utilizó para evaluar la resistencia al deslizamiento es utilizado a nivel internacional y relaciona los valores del coeficiente de fricción transversal (CFT) con el valor *Gripnumber* (GN) que arroja la prueba; éste es ilustrado en la Tabla 15.

Tabla 15 Clasificación internacional del pavimento según el GN

GN	Condición	Nivel			Tipo de Pavimento característico
		Deslizamiento	Peligrosidad	Riesgo medio de accidentabilidad*	
< 0,50	Malo	Muy deslizante	Muy peligroso	mayor a 20	Pavimento flexible compuesto de agregado calizo o pulido
0,50 – 0,60	Regular	Deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y/o pérdida de textura
0,60 – 0,78	Bueno	Poco deslizante	Moderado	10 a 16	Pavimento rígido y flexible con buena textura
> 0,78	Muy Bueno	No deslizante	Seguro	menor a 10	Pavimento nuevo o sobrecapas con buen agarre

\* Número de accidentes por cada millón de vehículos / kilómetro, en función del coeficiente de fricción, obtenidos en Gran Bretaña, según memorias del 5to Simposio de Características Superficiales de Pavimentos, Toronto, Canadá, 2004.

##### 4.7b. *Resultados de coeficiente de rozamiento con el ensayo de GRIP*

En esta sección se muestran los resultados obtenidos en la evaluación del coeficiente de rozamiento del proyecto San José – Caldera. De igual forma este proyecto fue evaluado en ambos sentidos de circulación.

En total, se evaluaron y procesaron con este equipo más de 30,000 secciones de 5 metros de longitud en promedio, los resultados de las mediciones obtenidas para este proyecto en ambos sentidos San José – Caldera, Caldera – San José se presentan respectivamente en las Tablas 16 y Figuras 30.

Tabla 16 Resultados obtenidos, coeficiente rozamiento superficial del proyecto, sentido San José – Caldera mediante el ensayo GRIP

Condición *	Longitud (km)	Porcentaje %
Muy Bueno (no deslizante)	6,4	8,4
Bueno (poco deslizante)	57,87	75,8
Regular (deslizante)	7,71	10,1
Malo (muy deslizante)	4,34	5,7
Total	76.32	kilómetros

\* Según clasificación internacional

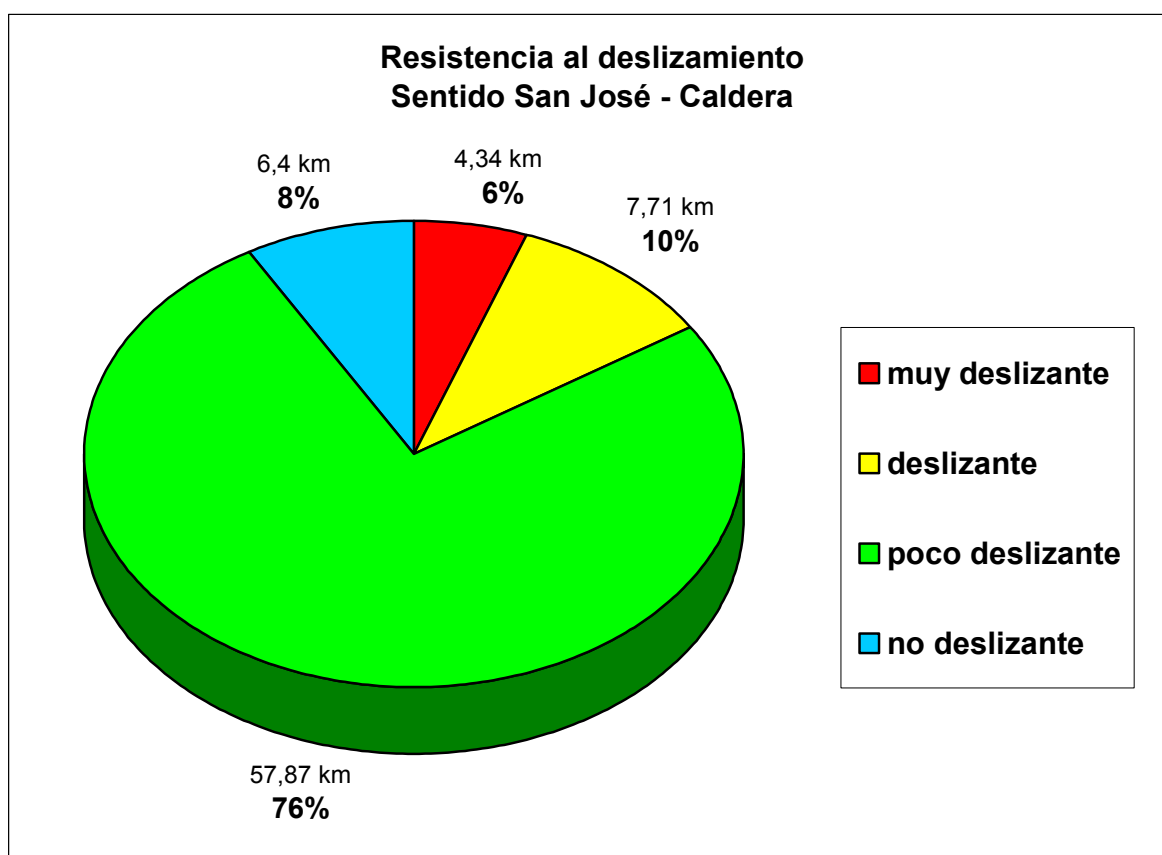


Figura 30 Estado del proyecto San José - Caldera según agarre superficial (parámetro GRIP), clasificación internacional; longitudes en km.

Tabla 17 Resultados obtenidos, coeficiente rozamiento superficial del proyecto, sentido Caldera – San José mediante el ensayo GRIP

Condición*	Longitud (km)	Porcentaje %
Muy Bueno (no deslizante)	5,965	7,8
Bueno (poco deslizante)	61,060	80,2
Regular (deslizante)	7,585	10,0
Malo (muy deslizante)	1,495	2,0
Total	76.1	kilómetros

\* Según clasificación internacional



Figura 31 Estado del proyecto Caldera – San José, según agarre superficial (parámetro GRIP), clasificación internacional; longitudes en km.

La ubicación exacta de los tramos de evaluados con el GRIP-TESTER se presenta en los mapas de la evaluación funcional en la sección 4.9. En la siguiente tabla se resumen los estacionamientos donde se localizaron los principales puntos con valores de resistencia al deslizamiento calificado como “deslizante” o “muy deslizante”.

Tabla 18 Ubicación de estacionamientos con problemas resistencia al deslizamiento (GRIP NUMBER)

<b>Estacionamientos</b>	<b>Rangos de GRIP GN</b>	<b>Sentido</b>	<b>Descripción</b>
<b>6+200 a 7+100</b> <b>10+500 a 10+800</b> <b>14+350 a 16+600</b> <b>18+600 a 19+400</b> <b>21+800 a 23+600</b> <b>25+200 a 25+800</b> <b>31+800 a 32+000</b> <b>33+450 a 34+900</b> <b>52+150 a 52+950</b> <b>58+800 a 59+200</b> <b>59+500 a 59+700</b>	<b>0,5 – 0,6</b>	<b>San José - Caldera</b>	<b>Deslizantes</b>
<b>1+500 a 2+200</b> <b>3+500 a 4+400</b> <b>6+200 a 7+100</b> <b>10+500 a 10+800</b> <b>17+600 a 18+100</b> <b>18+600 a 19+400</b> <b>20+600 a 21+100</b> <b>21+800 a 23+600</b> <b>25+200 a 25+800</b> <b>31+800 a 32+000</b> <b>35+100 a 35+850</b> <b>45+400 a 45+700</b> <b>52+150 a 52+950</b> <b>58+800 a 59+200</b> <b>59+500 a 59+700</b>		<b>Caldera – San José</b>	
<b>0+000 a 4+000</b> <b>7+700 a 8+900</b> <b>11+350 a 12+200</b> <b>30+200 a 30+500</b> <b>67+450 a 72+000</b> <b>72+300 a 76+300</b>	<b>&lt; 0.5</b>	<b>San José - Caldera</b>	<b>Muy deslizantes</b>
<b>11+350 a 12+200</b> <b>12+450 a 13+850</b> <b>30+200 a 30+500</b> <b>66+600 a 67+200</b> <b>67+450 a 72+000</b> <b>72+300 a 76+300</b>		<b>Caldera – San José</b>	

#### **4.8 Análisis general de resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento. Mes de julio 2010.**

Los resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento revelan zonas de alta peligrosidad por los bajos coeficientes de rozamiento. En varios estudios de accidentes a nivel internacional se ha llegado a demostrar que las rutas con pavimento deslizante facilitan la mayor incidencia de accidentes de tráfico. Debido a esto, y en perspectiva dentro de un proyecto con velocidades de circulación superiores a los 90 km/h (según mediciones realizadas por LanammeUCR, octubre 2010) y en condiciones de humedad superficial, es donde las secciones denominadas como “deslizantes” o “muy deslizantes” toman una ponderación mayor en la calificación del nivel de seguridad asociado con la resistencia al deslizamiento de los vehículos, por lo tanto, aunque la mayoría del proyecto (>85%) se encuentre en condiciones de circulación seguras, la Administración debería valorar la posibilidad de exigir al Concesionario intervenciones prioritarias en las secciones donde los riesgos de derrape de los vehículos son altas o muy altas.

#### **4.9 Mapas con los resultados de mediciones resistencia al deslizamiento (GRIP-NUMBER)**

Las Figuras 32 a 37 presentadas a continuación, muestran los resultados de la evaluación con el grip-tester.



Resultados obtenidos de agarre superficial, Ruta 27, tramo San José - Caldera

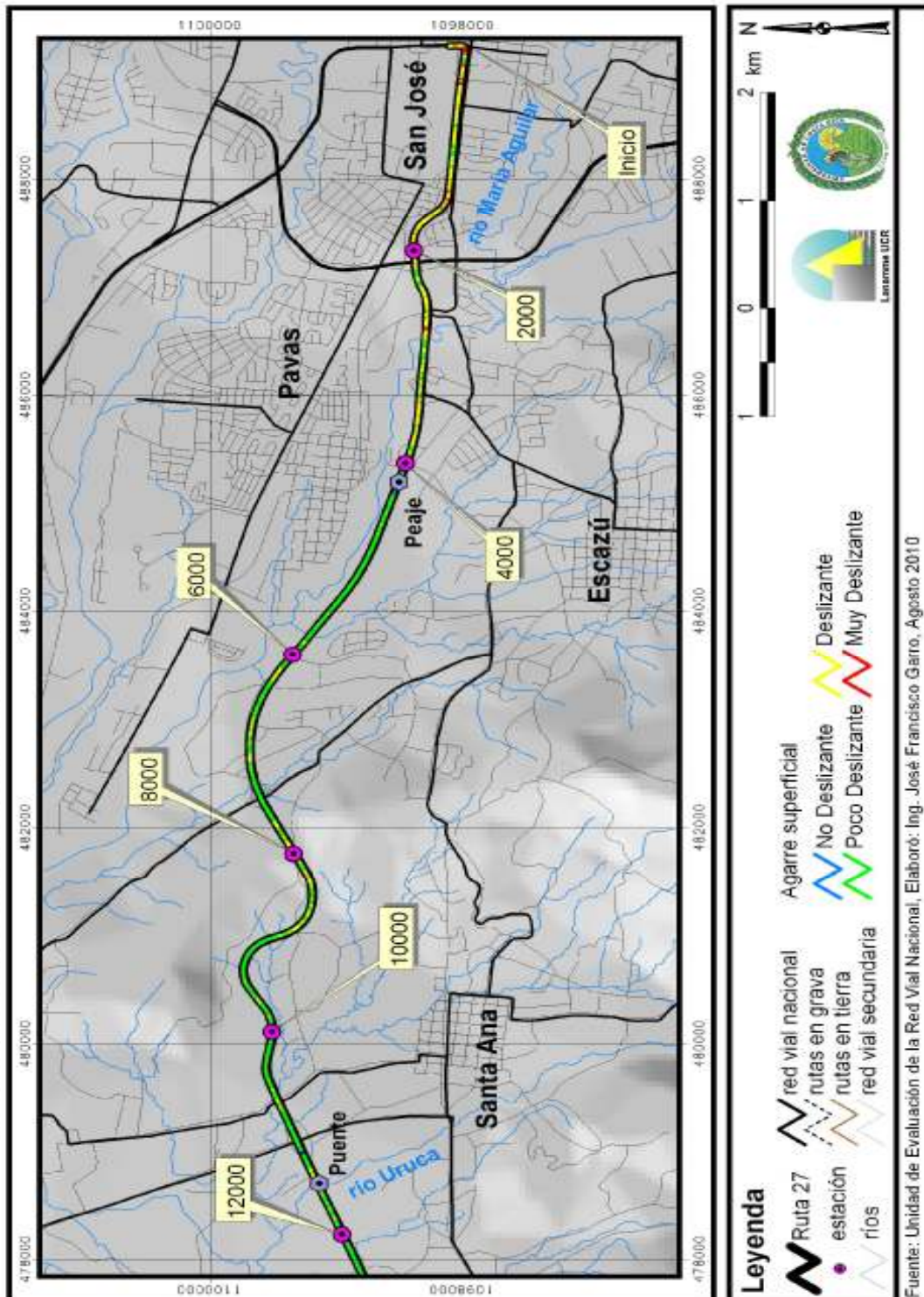


Figura 32 Resultados obtenidos de resistencia al deslizamiento, estacionamiento 0+000 – 12+000

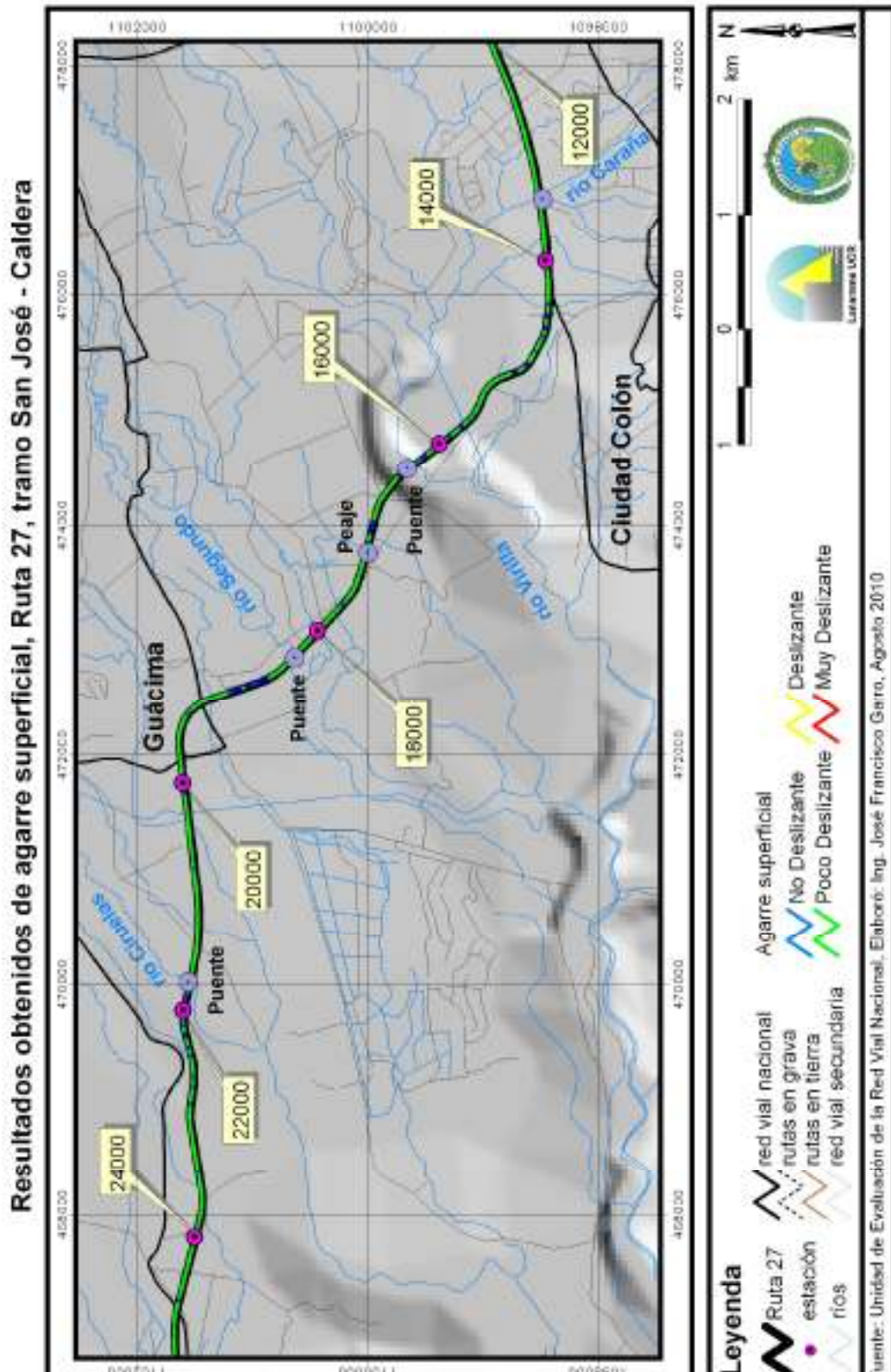


Figura 33 Resultados obtenidos de resistencia al deslizamiento, estacionamiento 12+000 – 24+000

Resultados obtenidos de agarre superficial, Ruta 27, tramo San José - Caldera

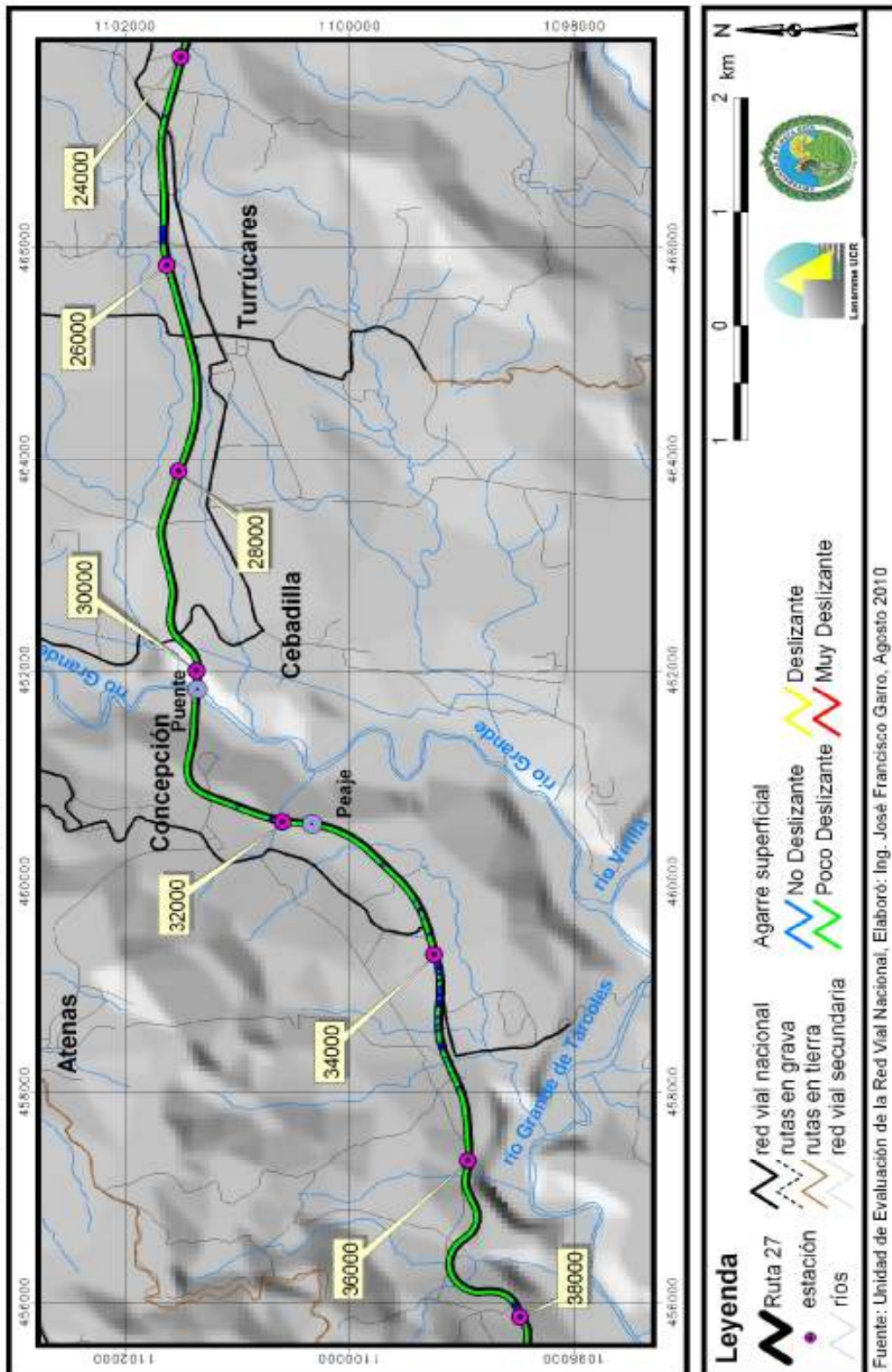


Figura 34 Resultados obtenidos de resistencia al deslizamiento, estacionamiento 24+000 – 38+000

Resultados obtenidos de agarre superficial, Ruta 27, tramo San José - Caldera

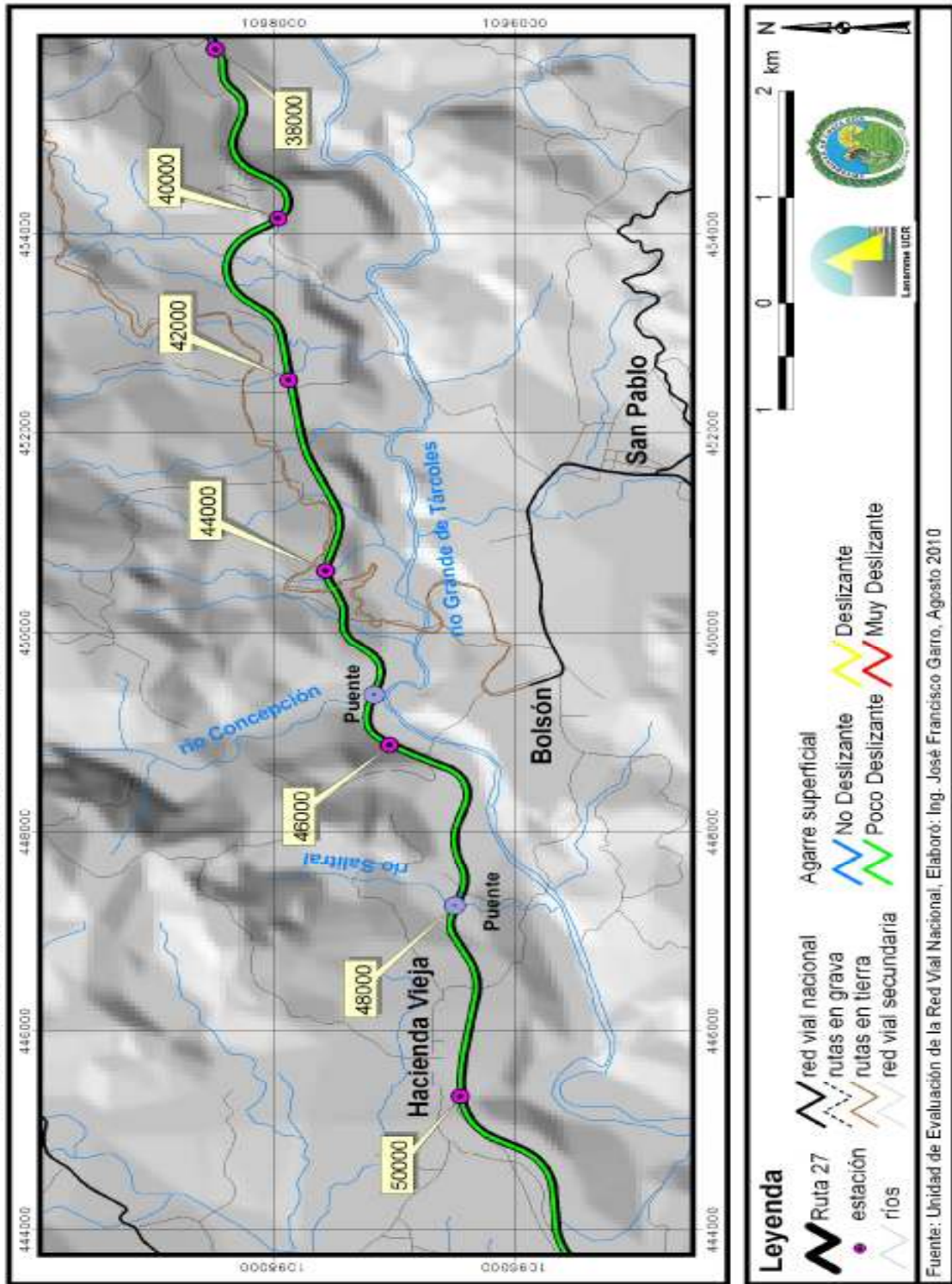


Figura 35 Resultados obtenidos de resistencia al deslizamiento, estacionamiento 38+000 – 50+000

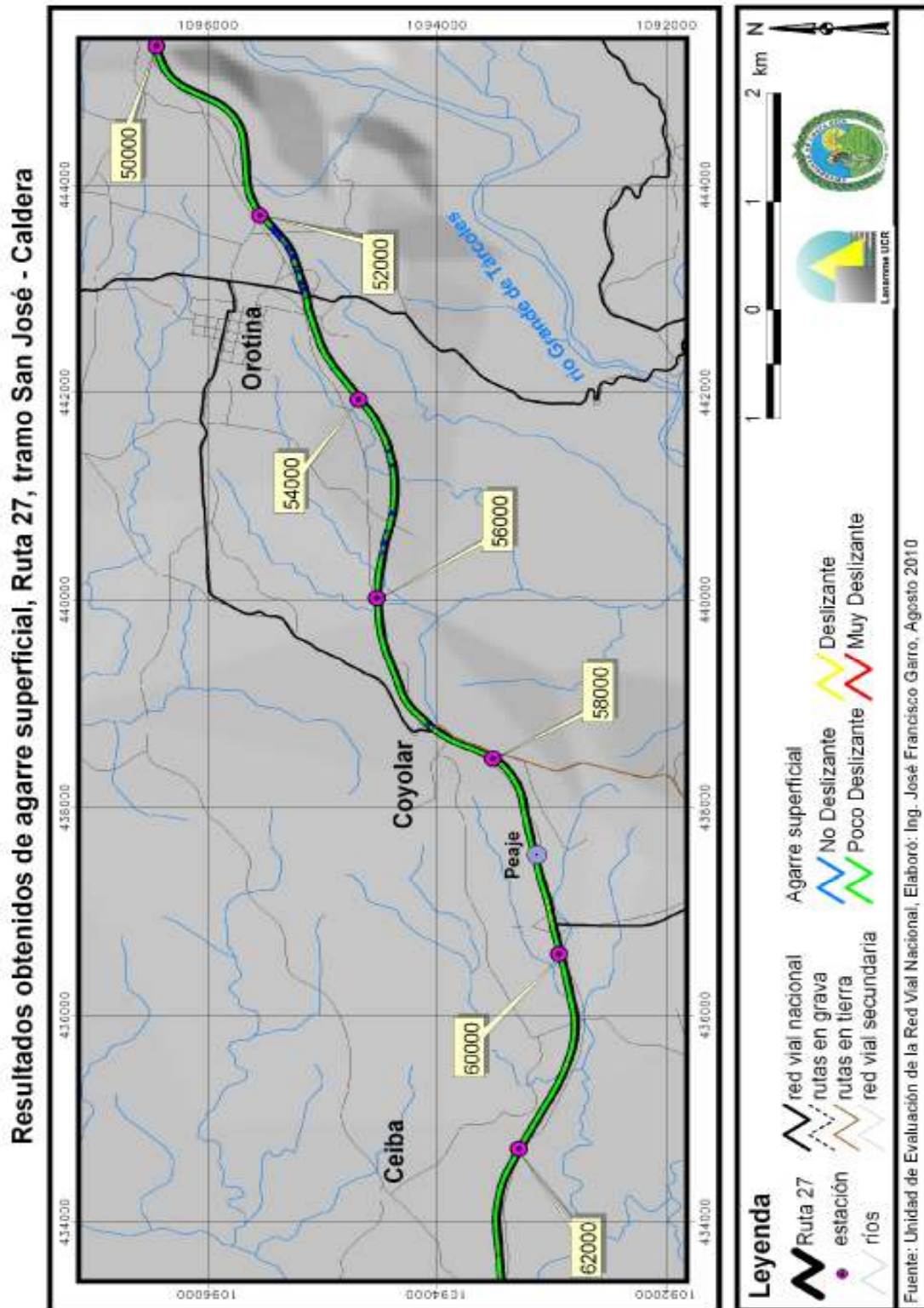


Figura 36 Resultados obtenidos de resistencia al deslizamiento, estacionamiento 50+000 – 62+000

Resultados obtenidos de agarre superficial, Ruta 27, tramo San José - Caldera

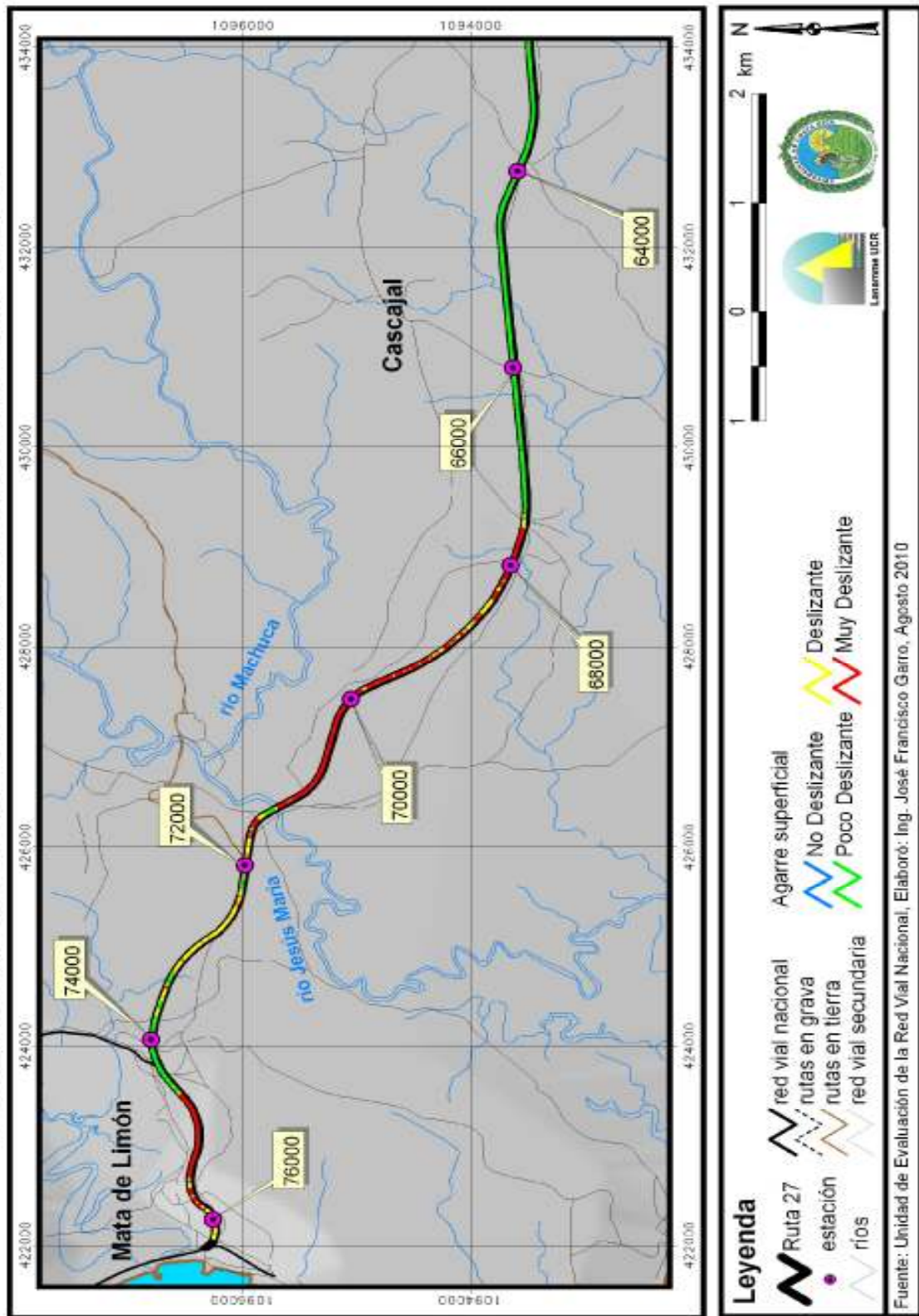


Figura 37 Resultados obtenidos de resistencia al deslizamiento, estacionamiento 62+000 – 76+000

#### 4.10 Análisis de la condición superficial del proyecto. Presencia, severidad y extensión de deterioros según análisis visual por medio de equipos de imágenes georreferenciadas. Evaluaciones realizadas en octubre – noviembre 2010.

##### 4.10a. *Criterios de clasificación*

La evaluación del deterioro superficial del proyecto San José – Caldera se realizó por medio de un equipo de cámaras digitales de alta resolución que toman imágenes georreferenciadas, es decir, es un levantamiento digital de imágenes a 360° que permiten analizar la mayoría de los detalles relevantes de la infraestructura vial, tales como deterioros superficiales, elementos de seguridad vial y elementos geométricos por medio de un software y permite ubicar cada imagen con un alto nivel de precisión por medio de mapas que permiten encontrar la ubicación exacta de cada punto analizado.

Los criterios de severidad se establecieron de acuerdo a lo definido en la norma ASTM D6433, para deterioros superficiales en pavimentos flexibles y las extensiones se midieron de acuerdo al área neta del pavimento por cada sección del proyecto, específicamente: **SECCIÓN I:** San José-Ciudad Colón que corresponde al tramo de carretera existente entre el Gimnasio Nacional en San José y el inicio de la construcción del nuevo tramo Ciudad Colón-Orotina, con una longitud de 14,20 Km, **SECCIÓN II:** Ciudad Colón-Orotina, contempla el nuevo tramo de carretera que se construyó entre esas dos localidades, con una longitud de 38,80 Km y la **SECCIÓN III:** Orotina- Caldera, es el tramo de carretera existente entre Intercambio Orotina (paso superior) y el Puerto de Caldera, con una longitud de 23,80 Km.

##### 4.10b. *Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales*

#### Sección I: San José-Ciudad Colón

**Longitud (m):** 140000

**Área en m<sup>2</sup>:** 211.870,92

Tabla 19 Resumen de deterioros superficiales detectados en la sección I.

Tipo de deterioro <sup>1</sup>	Nivel de severidad	% Área de la sección	Ubicación	Archivo fotográfico <sup>2</sup>
Baches	baja	< 1%	A lo largo del tramo	1 a 4
Desprendimientos	baja	5% - 10%	A lo largo de toda la superficie del tramo	5, 6
Exudación	baja	< 1%	3+400 y 12+200	7 a 9
Huecos	baja	< 1%	10+700	10

Notas: 1. Los deterioros cuantificados en la tabla corresponden a los detectados en el momento de la evaluación con el geo-3D y están sujetos a variaciones producto de intervenciones o falta de mantenimiento.

2. Fotografías en Anexo I.

**Sección II: Ciudad Colón - Orotina****Longitud (m):** 377000**Área en m<sup>2</sup>:** 354.070,80

Tabla 20 Resumen de deterioros superficiales detectados en la sección II.

<b>Tipo de deterioro<sup>1</sup></b>	<b>Nivel de severidad</b>	<b>% Área de la sección</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Archivo fotográfico<sup>2</sup></b>
Baches	baja	< 1%	A lo largo del tramo	11 a 16
Desprendimientos	Alta	15%	26+000, 17+000 a 18+000 y 24+000 a 29+000	17 <sup>a</sup> , 17b
	baja	85%	Resto de la superficie de la sección II	17c
Exudación	baja	< 1%	Puntual. A lo largo de toda la sección	18 a 22

Notas: 1. Los deterioros cuantificados en la tabla corresponden a los detectados en el momento de la evaluación con el geo-3D y están sujetos a variaciones productos de intervenciones o falta de mantenimiento.

2. Fotografías en Anexo I.

**Sección III: Orotina - Caldera****Longitud (m):** 244000**Área en m<sup>2</sup>:** 226.152,00

Tabla 21 Resumen de deterioros superficiales detectados en la sección III.

<b>Tipo de deterioro<sup>1</sup></b>	<b>Nivel de severidad</b>	<b>% Área de la sección</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Archivo fotográfico<sup>2</sup></b>
Baches	Alta	< 1%	73+000	26
	Media	< 1%	73+000	26
	Baja	< 1%	52+000, 65+000, 71+000, 73+000	23 a 25
Desprendimientos	Alta	57%	54+800 a 56+800, 63+000 a 73+000	27 a 29
	baja	43%	Resto de la superficie de la sección III	30, 31
Fisuramiento	Alta	< 1%	63+300, 68+300	34
	Media	< 1%	65+100, 68+100 a 68+300	32, 33
	Baja	< 1%	63+000 a 71+000, 76+200	29, 30
Huecos	Media	< 1%	65+625, 68+350, 73+650	37 a 39
	Baja	< 1%	71+550, 76+000	35 a 36
Ahuellamiento	Media (13 – 25 mm)	< 1%	62+800 a 65+000	40
	Baja (6 – 13 mm)	< 1%	65+400 a 65+600	41

Notas: 1. Los deterioros cuantificados en la tabla corresponden a los detectados en el momento de la evaluación con el geo-3D y están sujetos a variaciones productos de intervenciones o falta de mantenimiento.

2. Fotografías en Anexo I.



#### 4.11 Análisis general de resultados de la evaluación visual. Meses de octubre – noviembre 2010.

El proceso de auscultación visual por medio del geo-3D permite realizar un análisis de los deterioros superficiales encontrados en el proyecto. La presencia de deterioros estructurales es mínima en la mayoría del proyecto, encontrando valores inferiores al 1%, sin embargo, los deterioros de tipo funcional, empiezan a presentarse de forma prematura y acelerada en el proyecto, siendo el deterioro conocido como “desprendimientos” el más generalizado.

Los deterioros de tipo funcional, como el “desprendimiento” detectado, tienen impacto inmediato en aspectos relacionados con el confort, costos de operación vehicular para el usuario y la seguridad vial y en el mediano y largo plazo van evolucionando en deterioros de tipo estructural que pueden disminuir la durabilidad del proyecto (ver imágenes 1, 2, 3).

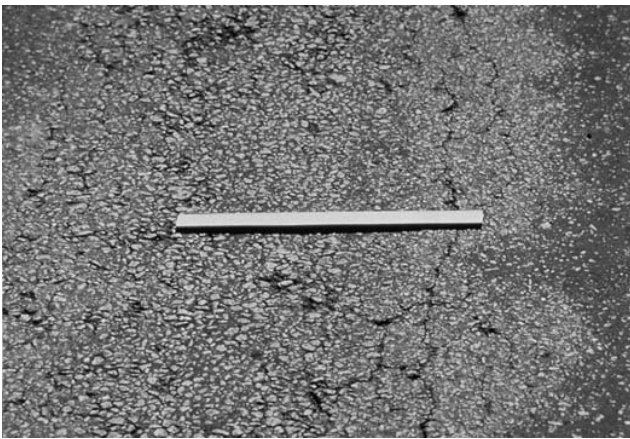


Imagen 2 Desprendimiento leve



Imagen 1 Desprendimiento medio



Imagen 3 Desprendimiento severo

Dentro de las causas más comunes asociadas con “desprendimientos” tenemos:

- Esparcido irregular del ligante (asfalto)
- Ligante inadecuado.
- Agregado pétreo (árido) inadecuado por falta de adherencia (afinidad) en el ligante (asfalto).
- Agregado sucio, con polvo adherido.
- Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del ligante (asfalto).
- Dosificación árido (pétreo) – ligante (asfalto) inadecuada
- Colocación con lluvia o exceso de agua en la capa de apoyo, que produce delaminación.
- Compactación deficiente (si procede).
- Envejecimiento del ligante (asfalto).

El conocimiento de las posibles causas de los deterioros del proyecto es importante para que la Administración valore los trabajos de reparación que proponga el Concesionario a lo largo del periodo de explotación del proyecto, ya que todo trabajo de reparación, para que sea efectivo debe eliminar la causa del deterioro y corregir de forma integral el mismo.

#### ***4.12 Susceptibilidad sísmica de los principales puentes del proyecto San José – Caldera. Evaluación de puentes sobre los ríos Virilla, Ciruelas, Grande, Concepción y Salitral, Ruta Nacional 27***

Se evaluaron los puentes sobre los ríos Virilla, Ciruelas, Grande, Concepción y Salitral mediante la metodología descrita en el apartado 3.5 de este informe. La escogencia de estos puentes corresponde al tamaño de las estructuras y a su ubicación en el tramo II del proyecto San José-Caldera, cuyos puentes no habían sido evaluados con anterioridad. Se presentan a continuación los resultados obtenidos.

##### ***4.12a. Puentes evaluados***

Se evaluaron los siguientes puentes vehiculares de la Ruta Nacional 27 tomando en consideración sus características estructurales y utilizando mapas de aceleraciones, según la amenaza sísmica para Costa Rica, para periodos de retorno de 100 y 500 años, este último valor como revisión según la última versión del Código Sísmico de Costa Rica (2002):

- Puente sobre Río Virilla.
- Puente sobre Río Ciruelas.
- Puente sobre Río Grande.
- Puente sobre Río Concepción.
- Puente sobre Río Salitral.

En las Tablas 22 a 26 se muestra información de los puentes estudiados, la cual fue utilizada para la evaluación de cada estructura según la metodología de RMS Inc. Dado que no se cuenta con la fecha exacta de construcción de las estructuras, esta se indica en las tablas como “No disponible”.

Tabla 22 Características del Puente sobre el Río Virilla.

Característica	Puente sobre el Río Virilla
Ruta	27
Fecha de construcción	No disponible
Longitud	255 metros
Material	Subestructura y superestructura de concreto
Tipo de estructura	Viga cajón de sección variable
Tipo	Puente de gran tamaño
Diseño	Sismo resistente
Aceleración	0,31g-0,315g (T=100 años) 0,48g-0,485g (T=500 años)
Riesgo	Bajo

De las características anteriores, y siguiendo la metodología de RMS, el puente clasifica como una estructura HBR1 (puente de gran tamaño – diseño sismo resistente).



Imagen 4 Puente sobre el Río Virilla.

*Estado del puente al 9 de septiembre de 2010. (LanammeUCR, 2010).*

Tabla 23 Características del Puente sobre el Río Ciruelas.

Característica	Puente sobre el Río Ciruelas
Ruta	27
Fecha de construcción	No disponible
Longitud	133 metros
Material	Subestructura de concreto, superestructura de acero con losa de concreto
Tipo de estructura	Vigas continuas de acero
Tipo	Puente continuo
Diseño	Sismo resistente
Aceleración	0,31g-0,315g (T=100 años) 0,48g-0,485g (T=500 años)
Riesgo	Bajo

De las características anteriores, y siguiendo la metodología de RMS, el puente clasifica como una estructura HBR3 (puente continuo – diseño sismo resistente).



Imagen 5 Puente sobre el Río Ciruelas.

*Estado del puente al 9 de septiembre de 2010. (LanammeUCR, 2010).*



Imagen 6 Puente sobre el Río Ciruelas

*Estado del puente al 9 de septiembre de 2010. (LanammeUCR, 2010).*

Tabla 24 Características del Puente sobre el Río Grande.

Característica	Puente sobre el Río Grande
Ruta	27
Fecha de construcción	No disponible
Longitud	295 metros
Material	Subestructura y superestructura de concreto
Tipo de estructura	Vigas continuas de sección variable
Tipo	Puente de gran tamaño
Diseño	Sismo resistente
Aceleración	0,315g-0,32g (T=100 años) 0,49g-0,495g (T=500 años)
Riesgo	Bajo

De las características anteriores, y siguiendo la metodología de RMS, el puente clasifica como una estructura HBR1 (puente de gran tamaño – diseño sismo resistente).



Imagen 7 Puente sobre el Río Grande.

*Estado del puente al 23 de septiembre de 2010. (LanammeUCR, 2010.*

Tabla 25 Características del Puente sobre el Río Concepción.

<b>Característica</b>	<b>Puente sobre el Río Concepción</b>
Ruta	27
Fecha de construcción	No disponible
Material	Subestructura y superestructura de concreto
Tipo de estructura	Vigas simplemente apoyadas
Tipo	Puente continuo
Diseño	Sismo-resistente
Aceleración	0,325g-0,33g (T=100 años) 0,505g-0,51g (T=500 años)
Riesgo	Bajo

De las características anteriores, y siguiendo la metodología de RMS, el puente clasifica como una estructura HBR3 (puente continuo – diseño sismo resistente).



Imagen 8 Puente sobre el Río Concepción.

*Estado del puente al 9 de septiembre de 2010. (LanammeUCR, 2010).*



Imagen 9 Puente sobre el Río Concepción.

*Estado del puente al 9 de septiembre de 2010. (LanammeUCR, 2010).*

Tabla 26 Características del Puente sobre el Río Salitral.

Característica	Puente sobre el Río Salitral
Ruta	27
Fecha de construcción	No disponible
T.P.D.	No disponible
Longitud	160 metros
Material	Subestructura de concreto, superestructura de acero con losa de concreto
Tipo de estructura	Vigas continuas de acero
Tipo	Puente continuo
Diseño	Sismo resistente
Aceleración	0,325g-0,33g (T=100 años) 0,505g-0,51g (T=500 años)
Riesgo	Bajo

De las características anteriores, y siguiendo la metodología de RMS, el puente clasifica como una estructura HBR3 (puente continuo – diseño sismo resistente).



Imagen 10 Puente sobre el Río Salitral.

*Estado del puente al 9 de septiembre de 2010. (LanammeUCR, 2010).*





Imagen 11 Puente sobre el Río Salitral.

*Estado del puente al 9 de septiembre de 2010. (LanammeUCR, 2010).*

Según la Tabla 27, la cual resume los criterios de vulnerabilidad para puentes según el daño asignado para las aceleraciones esperadas para periodos de retorno de 100 y 500 años, y con base en los resultados del análisis de amenaza sísmica, para a los puentes sobre los ríos Virilla, Ciruelas, Grande, Concepción y Salitral se esperaría un daño clasificado como menor para un periodo de retorno de 100 años y moderado para un periodo de retorno de 500 años, lo cual permite clasificar su nivel de vulnerabilidad, según la Tabla 27, como media.

Tabla 27 Daño asignado a los puentes evaluados.

<b>Puente</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Daño asignado (T = 100 años)</b>	<b>Daño asignado (T = 500 años)</b>	<b>Vulnerabilidad</b>
Río Virilla	HBR1	Menor	Moderado	Media
Río Ciruelas	HBR3	Menor	Moderado	Media
Río Grande	HBR1	Menor	Moderado	Media
Río Concepción	HBR3	Menor	Moderado	Media
Río Salitral	HBR3	Menor	Moderado	Media

### **4.13 *Conclusión General***

El análisis integral del pavimento en la sección de la troncal principal debe realizarse tomando en consideración la influencia de una serie de aspectos que afectan, en mayor o menor medida, la calidad general del proyecto. Se debe tomar en consideración la calidad de los materiales utilizados, es decir, el diseño de la mezcla asfáltica, el diseño estructural o de los espesores de las distintas capas del pavimento, el nivel de servicio que el pavimento brinda a los usuarios en términos de confort, costos de operación vehicular, seguridad vial y por último, el nivel de deterioro superficial. Ninguno de estos aspectos son independientes entre si, existe una estrecha correlación entre cada uno de ellos y deben ser ponderados dentro del ámbito de un proyecto en concesión de obra pública.

De esta forma, los análisis realizados revelan un proyecto con una adecuada capacidad estructural y funcional, pero con una tendencia clara y acelerada al deterioro, donde se manifiesta una pérdida significativa de la capacidad funcional (IRI) y del nivel de serviciabilidad (PSI) en un periodo muy corto de tiempo. Adicionalmente, la presencia clara de distintos tipos de deterioro superficial, principalmente de tipo funcional, como son los “desprendimientos de agregados” aunado a evidentes zonas de alta peligrosidad para los usuarios por las bajas resistencias al deslizamiento, evidencian deficiencias en la mezcla asfáltica, que podrían ser atribuibles a inadecuadas dosificaciones asfalto – agregados y cuya solución es costosa pero factible.

El proyecto en su troncal principal requiere de intervenciones inmediatas para corregir los problemas de tipo funcional que se han detectado, estas intervenciones no son esperadas en estados tan tempranos de un proyecto vial, tan solo 9 meses de servicio al momento de esta evaluación en el año 2010. La pérdida acelerada de capacidad funcional afecta, en primera instancia, al usuario y eventualmente se transforma en una pérdida de durabilidad del proyecto afectando la capacidad estructural y en una pérdida del patrimonio vial que eventualmente representará el proyecto para el país cuando termine el periodo de concesión.

#### **4.13a. Conclusiones específicas**

##### **4.13b. Sobre la condición estructural**

Los resultados de la deflectometría de impacto revelan un pavimento con una muy buena capacidad estructural en la mayor parte del ramal principal del proyecto. Esta valoración estructural representa el estado estructural del pavimento hasta el momento de la medición, es decir hasta los meses de junio y julio del 2010. Estas mediciones pueden variar posteriormente en magnitudes significativas con los cambios de temperatura durante épocas muy cálidas y con las variaciones de los niveles de humedad en las capas de base, sub-base y sub razante. Las mediciones que se realicen durante el año 2011 y años subsiguientes revelarán los efectos de estas variaciones en la pérdida o mantenimiento de la capacidad estructural de este proyecto en el sentido San José – Caldera.

##### **4.13c. Sobre la condición funcional**

Los resultados de la valoración funcional del proyecto muestran un estado calificado en más de un 88% como “bueno”, no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden esta comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria.

Un 12% de la troncal principal es calificado con valores donde la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito, aumentos en los costos de operación vehicular y disminución de la durabilidad del proyecto al aumentar el número de cargas dinámicas sobre el pavimento. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento.

Es notable como el nivel capacidad funcional es inferior en el sentido Caldera – San José, condición que es consistente con la presencia de mayores vehículos pesados que transitan en este sentido de circulación.

Sobre el desempeño del proyecto, los análisis muestran como en julio de 2010 la troncal principal del proyecto mostraba un 90,6% de su superficie con valores en el índice de serviciabilidad presente (PSI) superiores a 3,2, considerado en un rango de “bueno” a “muy bueno”, sin embargo, en las mediciones realizadas en octubre 2010, tres meses después, el porcentaje de pavimento que calificaba con esta condición disminuyó a un 88,6%, lo que significó una pérdida de serviciabilidad considerable y acelerada para un proyecto con 10 meses de servicio y con una vida útil proyectada de 25 - 30 años.

#### *4.13d. Sobre la resistencia al deslizamiento como parámetros de seguridad vial*

Los resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento revelan zonas de alta peligrosidad por los bajos coeficientes de rozamiento. En varios estudios de accidentes a nivel internacional se ha llegado a demostrar que las rutas con pavimento deslizante facilitan la mayor incidencia de accidentes de tráfico. Debido a esto, y en perspectiva dentro de un proyecto con velocidades de circulación superiores a los 90 km/h (según mediciones realizadas por LanammeUCR, octubre 2010) y en condiciones de humedad superficial, es donde las secciones denominadas como “deslizantes” o “muy deslizantes” toman una ponderación mayor en la calificación del nivel de seguridad asociado con la resistencia al deslizamiento de los vehículos, por lo tanto, aunque la mayoría del proyecto (>85%) se encuentre en condiciones de circulación seguras, la Administración debería valorar la posibilidad de exigir al Concesionario intervenciones prioritarias en las secciones donde los riesgos de derrape de los vehículos son altos o muy altos.

#### *4.13e. Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica*

El proceso de auscultación visual por medio del geo-3D permite realizar un análisis de los deterioros superficiales encontrados en el proyecto. La presencia de deterioros estructurales es mínima en la mayoría del proyecto, encontrando valores inferiores al 1%, sin embargo, los deterioros de tipo funcional, empiezan a presentarse de forma prematura y acelerada en el proyecto, siendo el deterioro conocido como “desprendimientos” el más generalizado.

Los deterioros de tipo funcional, como el “desprendimiento de agregados” detectado, tienen impacto inmediato en aspectos relacionados con el confort, costos de operación vehicular para el usuario y la seguridad vial y en el mediano y largo plazo van evolucionando en deterioros de tipo estructural que pueden disminuir la durabilidad del proyecto.

#### *4.13f. Sobre la vulnerabilidad sísmica de los puentes evaluados*

La evaluación de la vulnerabilidad de puentes ante amenaza sísmica fue realizada con el método de Risk Management Solutions Inc. (RMS), el cual determina el nivel de daño potencial de cada puente ante sollicitaciones sísmicas de acuerdo a sus características estructurales. Según el resultado de este análisis, los puentes ubicados en el corredor vial en estudio presentarían daños menores y moderados en caso de sismo con periodos de retorno de 100 y 500 años, respectivamente.

A los puentes sobre los ríos Virilla, Ciruelas, Grande, Concepción y Salitral se les asignó un nivel de vulnerabilidad medio. Aún cuando para periodos de retorno de 100 años se esperaría que las estructuras presenten un daño potencial clasificado como menor, para las aceleraciones esperadas para periodos de retorno de 500 años se esperarían daños considerados como moderados, por lo que por la combinación de ambos criterios se les asigna a las estructuras el nivel de vulnerabilidad medio.

Según la metodología, con un daño menor se podría producir agrietamiento menor y descascaramiento de los bastiones y agrietamiento menor en las columnas, mientras que un daño moderado sería aquel en el que los bastiones y pilas podrían experimentar un agrietamiento moderado y descascaramiento, sin perder, no obstante, su funcionalidad estructural. Adicionalmente se podrían presentar asentamiento en los accesos y en las conexiones se podrían agrietar las llaves de cortante y se podrían torcer los pernos.

#### **4.14 Recomendaciones**

Como recomendaciones se plantea al Consejo Nacional de Concesiones (CNC) la necesidad que se evalúe y analice de forma oportuna la factibilidad y viabilidad técnica y legal de ejecutar las siguientes acciones:

##### *4.14a. Sobre la evaluación funcional, estructural, resistencia al deslizamiento y de deterioro superficial del proyecto*

1. Ordenar al Concesionario realizar intervenciones tempranas del tipo sellos de lechadas asfálticas o similares (slurry seals, fog seals, chip seals o microsurfacing) en aquellas zonas con deterioros de tipo funcional y problemas relacionados con la baja resistencia al deslizamiento, con el fin de detener la propagación de los deterioros detectados y las condiciones de inseguridad vial, así como la eventual pérdida de capacidad funcional o estructural del proyecto, sin dejar de lado la necesidad de realizar el consecuente trabajo de señalización horizontal (pintura) que surge luego de este tipo de intervenciones correctivas.
2. Prever cualquier disminución de los estándares de calidad del proyecto, mediante un análisis de modelos de deterioro obtenidos con los datos de las evaluaciones anuales del proyecto, con el fin de detectar a tiempo pérdidas en la calidad del proyecto y exigir al concesionario las acciones preventivas correspondientes que garanticen al Estado Costarricense obtener un proyecto de altos estándares al final del periodo de concesión.

4.14b. Sobre la vulnerabilidad sísmica de los puentes evaluados

1. Implementar como parte de programas de mantenimiento de los puentes la revisión detallada de todos sus elementos estructurales y no estructurales, para asegurar la seguridad estructural de los puentes y aspectos de funcionalidad y seguridad vial, tanto para vehículos como para peatones. Las acciones de mantenimiento se recomienda correspondan a los resultados de inspecciones periódicas de los puentes y cuando sea necesario, a inspecciones detalladas de las estructuras. Se recomiendan que estas acciones sean planificadas y llevadas a cabo por profesionales y personal con experiencia en estas labores, utilizando en la medida de lo posible las técnicas más recientes en mantenimiento y rehabilitación de estructuras de puentes.
2. Como parte de los programas de mantenimiento de puentes se recomienda implementar un programa de limpieza de basura y desechos en la subestructura (i.e., bastiones y pilas), con la meta de mitigar y prevenir cualquier proceso de socavación.
3. Se recomienda analizar la susceptibilidad al cambio del cauce por eventos naturales (e.g., crecidas extraordinarias) e inducidas por el ser humano (e.g., explotación minera del río tanto aguas arriba como aguas abajo), pues cambios en los patrones de transporte de sedimentos o en la pendiente del río pueden resultar en fenómenos de erosión o depositación no considerados inicialmente en el diseño de los puentes.
4. Se recomienda considerar en los procesos de diseño de puentes, cuando así se requiera según lo indiquen los estudios hidrológicos que se realicen, medidas contra la inestabilidad de cauces y protección de márgenes con el fin de mitigar el daño que la erosión de los bancos laterales y los procesos de agradación y degradación puedan tener sobre la estructura del puente.
5. Entre las medidas de protección se pueden utilizar diques de control, bancos guía, muro de gaviones, enrocados de pilas y bastiones, entre otros. La solución que se elija se considera debe tener un respaldo técnico que asegure que dicha solución es la óptima, y no utilizar otras soluciones como simple receta.
6. Se recomienda que aspectos como el alineamiento y emplazamiento en proyectos futuros sean considerados en las etapas de estudios preliminares, conceptualización y diseño final de puentes con el fin de evitar problemas de estabilidad en curvas y recodos de los ríos, así como fenómenos de depositación y erosión en puntos de confluencia.
7. Los análisis geomorfológicos y de estabilidad del cauce se recomiendan sean parte primordial del diseño de puentes, pues permiten incorporar aspectos como el comportamiento e interacción de los puentes con su entorno.

#### 4.15 Bibliografía

- Aguilar, I. “Análisis de vulnerabilidad hidrológica de la carretera Interamericana, tramo La Georgina-San Isidro”. Tesis. UCR. 1997.
- Chacón, G. “Zonificación de la amenaza en la Carretera Interamericana Sur por deslizamiento de suelo y roca, asociados con lluvias intensas y sismos” Informe Final del Proyecto de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 2000.
- Kanji, M. “Metodología para estimar la vulnerabilidad del terreno con relación a flujos de detritos”. I Simposio Internacional de Movimientos en masa, Cuenca- Ecuador. Mayo, 2001.
- LanammeUCR, Informe de Evaluación del la Red Vial Nacional año 2006, PITRA, año 2006
- LanammeUCR, Informe Proyecto N° UI-PE-03-08, Variaciones a los rangos de clasificación de la red vial nacional de Costa Rica, Unidad de Investigación, Año 2008.
- López, W. “Vulnerabilidad ante amenazas naturales de la Ruta Nacional No.32, Sección Siquirres-Limón”. Informe final de proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. Agosto 2005.
- Piedra Rodríguez, Jhonatan. Coeficiente de fricción de las carreteras nacionales en Costa Rica, Proyecto final de graduación, año 2007, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica
- Risk Management Solutions, Inc., 1997, Earthquake Loss Estimation Methodology - HAZUS97 Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., USA.
- Rodríguez, E. “Revisión de métodos de Diseño hidrológico e hidráulico de alcantarillas para carreteras”. Informe final de proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. Agosto, 1989
- Ulloa, A., Vargas, W.; Garro, J. “Vulnerabilidad Geotécnica de Rellenos en Carreteras de Montaña de Costa Rica” XIV CILA Habana, Cuba, 2007.
- Umaña, C. “Vulnerabilidad ante amenazas naturales de la Ruta Nacional No.10, tramo Turrialba-Siquirres”. Informe final de proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Setiembre 2003.
- Vargas, W. “Guía para elaborar perfiles de vulnerabilidad de infraestructura vial ante amenazas naturales” LANAMME. UCR. 2002.
- Vargas, W.; Garro, J. “Gestión de riesgos naturales en infraestructura vial” LANAMME. UCR. 2003.
- Vargas, W.; Garro, J. “Relación entre las características geométricas y la vulnerabilidad de algunas rutas de montaña en Costa Rica” I Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (I CISEV). Costa Rica. 2008.
- Vargas, W.; Garro, J. “Vulnerabilidad a deslizamientos, carretera interamericana sur, tramo San Isidro de Cartago – San Isidro de Perez Zeledón” Informe Final, LANAMME. UCR. 2004.

Bravo, A. & Calvo, M. (1997). *Evaluación del impacto sobre la red vial de un terremoto en la Península de Nicoya*. Informe final de proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Castro, K. (2005). *Vulnerabilidad física de la infraestructura vial en las Rutas 130, 712, 146, 120 y 126 Tramo Alajuela-Fraijanes-Vara Blanca-San Miguel de Sarapiquí*. Informe de Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Hazuz. (1997). *Hazards U.S.* Estados Unidos: Federal Emergency Management Agency & National Institute of Building Science.

LanammeUCR. (2000). *Metodologías para la evaluación del riesgo asociado con eventos sísmicos*. Memorias de taller: Metodologías de análisis de vulnerabilidad de corredores viales ante sismo y lluvias intensas. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica.

## **4.16 ANEXO I**





Fotografía N.1 Bache Est. 3+050



Fotografía N.2 Bache Est. 3+850



Fotografía N.3 Bache Est. 4+975



Fotografía N. 4 Est 7+550



Fotografía N. 5 Desprendimiento Est.  
10+050



Fotografía N. 6 Desprendimiento Est. 12+800



Fotografía N.7 Exudación Est. 3+400



Fotografía N. 8 Exudación Est. 8+000



Fotografía N. 9 Exudación Est. 12+200



Fotografía N. 10 Est. 10+200



Fotografía N. 11 Bache Est. 14+200



Fotografía N.12 Bache Est. 15+250



Fotografía N.13 Bache Est. 24+350



Fotografía N.14 Bache Est. 24+450



Fotografía N.15 Bache Est. 32+350



Fotografía N. 16 Bache Est 41+050



Fotografía N. 17a Desprendimiento Est. 38+850



Fotografía N. 17b Desprendimiento Est. 24+350



Fotografía N. 17c Desprendimiento Est. 46+000



Fotografía N. 18 Exudación 21+220



Fotografía N. 19 Exudación Est. 30+525



Fotografía N. 20 Exudación Est. 30+700



Fotografía N. 21 Exudación Est. 32+750



Fotografía N. 22 Exudación Est. 34+200



Fotografía N. 23 Bache Est. 52+000



Fotografía N. 24 Bache Est. 65+200



Fotografía N. 25 Bache Est. 71+200



Fotografía N. 26 Bache Est. 73+300



Fotografía N. 27 Desprendimiento Est. 66+000



Fotografía N. 28 Desprendimiento Est. 73+000



Fotografía N. 29 Desprendimiento Est. 76+000



Fotografía N. 30 Desprendimiento Est. 63+000



Fotografía N. 31 Desprendimiento Est. 65+550



Fotografía N. 32 Fisuramiento Est. 65+500



Fotografía N. 33 Fisuramiento Est. 68+100



Fotografía N. 34 Fisuramiento Est. 68+300



Fotografía N. 35 Hueco Est. 71+550



Fotografía N. 36 Hueco Est. 76+000



Fotografía N. 37 Hueco Est. 65+625



Fotografía N. 38 Hueco Est. 68+350



Fotografía N. 39 Hueco Est. 73+650



Fotografía N. 40 Ahuellamiento 63+000



Fotografía N. 41 Ahuellamiento 65+500