

# Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Año 2004

## 1. INTRODUCCIÓN

Contar con la evaluación periódica del estado en que realmente se encuentra la red de carreteras, es un insumo imprescindible para poder realizar una correcta gestión de la infraestructura vial, que tenga implícito la garantía para el país del uso eficiente de las millonarias inversiones que anualmente se destinan a este sector para atender la demanda de una infraestructura directamente vinculada al desarrollo nacional; esto en contraposición al eventual despilfarro que se deriva de la asignación de recursos en inversiones en carreteras, cuando estas carecen de los mínimos fundamentos técnicos.

Adicionalmente, los registros históricos de las campañas de evaluación que se obtendrán cada dos años permitirán tener un conocimiento claro del proceso de recuperación o de deterioro que experimenta la red y además aporta información necesaria para valorar el monto en que se deprecia o se recupera el valor del patrimonio vial.

La evaluación de cada una de las carreteras de la red vial, con equipos de alta tecnología, es una herramienta indispensable para poder implementar programas de inversión eficientes y oportunos para así lograr el desarrollo y la conservación de esta infraestructura con el mínimo costo de inversión. Además, toda esta información puesta a disposición de la comunidad técnica, sirve de insumo para diferentes tipos de análisis que realizan los ingenieros viales.

Para determinar el estado en que se encuentran las carreteras del país se usaron dos equipos de alta tecnología: el perfilómetro láser y el deflectómetro de impacto.

Con el primero (perfilómetro láser) se mide la condición de regularidad o uniformidad que presenta la superficie de rodamiento. Con estas mediciones se obtiene, cada cien metros, un valor que se le denomina IRI (índice de regularidad internacional). Cuando el valor del IRI en una carretera es del orden de 1,0, o menos, significa que la superficie de rodamiento está en excelente estado; conforme pasa el tiempo, ese valor se incrementa y es un indicador muy preciso del proceso de deterioro que experimenta la carretera. El anexo A presenta los fundamentos de la evaluación del IRI para medir la condición de regularidad de la superficie de rodamiento en vías pavimentadas.

El segundo equipo de evaluación (deflectómetro de impacto) determina la resistencia del pavimento aplicando una fuerza de impacto (un golpe) de 4100 kg y se registra en una computadora cuánto se deflexiona (o "se hunde") el pavimento al aplicarle dicha fuerza. En el anexo B se presentan los fundamentos de la evaluación de la resistencia del pavimento mediante el uso del deflectómetro de impacto. Con esta información y las características físicas de las capas del pavimento es posible determinar la capacidad estructural del mismo, o sea la resistencia que tienen las carreteras para soportar el paso

de los vehículos que transitarán por ellas antes de llegar a deteriorarse. Los pavimentos débiles se deflexionan mucho (se hunden mucho al aplicarles la fuerza de impacto) y se deteriorarán rápidamente. Por el contrario, si la estructura del pavimento es resistente, se deflexiona poco, su deterioro es más lento, y requerirá inversiones menores para su mantenimiento y rehabilitación. El anexo C muestra cómo son las capas que conforman un pavimento.

## 1.1 Antecedentes

Según lo establece el artículo 5 de la Ley No. 8114 de 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 (LanammeUCR), deberá efectuar una evaluación bienal de la red nacional pavimentada.

Por lo anterior, en el año 2002 se evaluó la regularidad superficial (IRI) y para la campaña de evaluación del año 2004, además del IRI, se hizo la evaluación con el deflectómetro de impacto (resistencia del pavimento).

Con esta información se inicia una base de datos histórica que permitirá monitorear sistemáticamente el estado en que se encuentra nuestra red vial.

## 2. IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN EN LA GESTIÓN DE LA RED VIAL NACIONAL

Es ampliamente reconocido que nuestro país carece de un proceso de planificación formal, sistemático, técnico y con metodologías apropiadas de las intervenciones y presupuestos que es necesario ejecutar para conservar y desarrollar la infraestructura vial que demanda nuestro modelo de desarrollo. De acuerdo con lo antes señalado, en estas circunstancias la evaluación es indispensable para poder garantizar que los recursos que se invierten en la red vial nacional sean utilizados acertadamente, conforme a la inversión que realmente necesita cada carretera.

El estado de la red vial es un factor muy relevante para el desarrollo nacional. Esta evaluación debe ser vista como uno de los medios que ayudará al sector vial costarricense a recuperar la disciplina perdida. Con ella también se nos abre una oportunidad de reenfocar la gestión vial, reagrupar los recursos nacionales para enfrentar el serio deterioro de la red, y atender las justas demandas de transporte de los ciudadanos y la que proviene de la creciente exigencia del desarrollo económico y la competitividad.

### **3. CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2004**

#### **3.1 Objetivos propuestos**

- Evaluar el estado actual de la red nacional pavimentada con el perfilómetro láser y clasificarla por tramos según el índice de regularidad superficial (IRI).
- Evaluar el estado actual de la red nacional pavimentada con el deflectómetro de impacto (FWD), medir las deflexiones y clasificar la red por tramos según éste parámetro.

#### **3.2 Alcance**

La evaluación realizada está circunscrita al período en que se efectuó cada medición (estación climática), a las condiciones propias de las capas de cada vía, los materiales constitutivos y el contenido de humedad de las capas del pavimento. Se evaluó la red vial nacional pavimentada completa con el perfilómetro láser y únicamente se excluyeron 249 km de la evaluación con el deflectómetro de impacto, primordialmente en vías con deterioro extremo y algunas otras que no presentan condiciones mínimas de seguridad para realizar los ensayos. Los valores obtenidos son referencias válidas obtenidas con metodologías apropiadas e internacionalmente reconocidas.

#### **3.3 Descripción de equipos utilizados**

##### **3.3.1 Perfilómetro láser**

El perfilómetro láser es un equipo de alta tecnología que permite evaluar la condición de regularidad superficial de las carreteras. Es un buen indicador de los costos de operación de la flota vehicular (costos del transporte) que por ahí transita y determina también si una carretera se acerca a niveles de deterioro superficial, que requieren de intervenciones oportunas, antes de que se empiece a causar daños evitables a la flota vehicular (sobrecostos de transportes) y además se requiera de altísimos costos de rehabilitación o reconstrucción (uso ineficiente de los fondos viales).

Para ello, el perfilómetro determina el índice de regularidad internacional (IRI). En inglés se le conoce como "international roughness index."

La figura N° 1 muestra el perfilómetro láser del LanammeUCR empleado en la evaluación de la red vial nacional pavimentada.

**Figura N° 1: Perfilómetro láser**



**Ubicación de  
sensores  
láser**

### **3.3.2 Deflectómetro de impacto**

El deflectómetro de impacto es un equipo de alta tecnología que mide el hundimiento (deflexión) que experimenta el pavimento cuando se deja caer un cierto peso sobre él (impacto). En inglés se le conoce como “falling weight deflectometer” (FWD).

Con este parámetro se infiere la resistencia del pavimento (capacidad estructural), la vida útil remanente que aún le queda a la carretera y sirve de base para determinar oportunamente los trabajos que hay que hacer en las vías (rehabilitación, recarpeteo, etc.), de modo que la inversión sea mínima y la vía se encuentre siempre en buen estado.

La figura N° 2 muestra el deflectómetro de impacto empleado en la evaluación de la red vial nacional pavimentada.

**Figura N° 2: Deflectómetro de impacto**



## 4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Regularidad superficial de la red vial nacional pavimentada

#### 4.1.1 Criterios de clasificación de la red vial nacional según el índice de regularidad internacional (IRI)

La evaluación de la red vial nacional pavimentada con el perfilómetro láser se efectuó entre los meses de febrero y julio del año 2004, y determinó la condición de regularidad superficial (IRI) de 4081,3 km.

Para determinar si un tramo de carretera se encuentra en estado bueno, regular o malo, se empleó el siguiente criterio:

**Tabla Nº 1: Valores para la clasificación de la red vial nacional pavimentada según el índice de regularidad internacional**

Clasificación	Índice de regularidad internacional (IRI) (*) (m/km)
Bueno	Entre 0,0 y 3,0
Regular	Entre 3,0 y 5,0
Malo	Mayor que 5,0

(\*) Medidas realizadas con el perfilómetro láser

Desde el punto de vista técnico, estos valores representan lo siguiente:

- Un IRI = 3,0 equivale a un PSI<sup>1</sup> de 3,0 y representa el nivel de deterioro al final de la vida útil de diseño de una carretera de alto volumen de tránsito<sup>2</sup>. Esta condición se refleja como el inicio de un incremento en los costos de operación de los vehículos que por allí transitan.
- Un IRI = 5,0 equivale a un PSI de 2,0, que representa el nivel de deterioro al final de la vida útil de diseño de una carretera de bajo volumen de tránsito. Esta condición provocaría un acelerado aumento de los costos de operación de los vehículos que utilizan la vía.

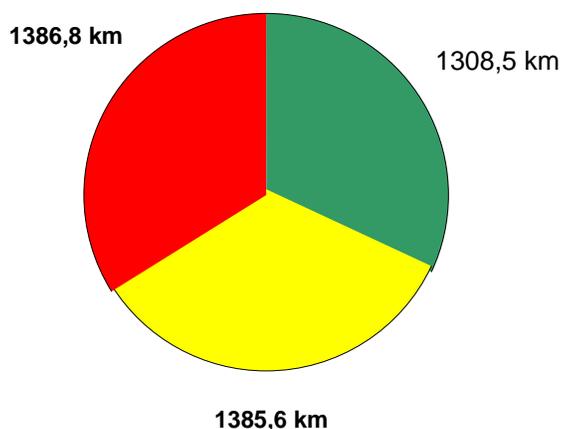
<sup>1</sup> PSI: Índice de calidad de servicio según la metodología AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

<sup>2</sup> Autopistas, por ejemplo.

#### 4.1.2 Resultados nacionales de la evaluación del IRI como indicador del deterioro superficial

La figura N° 3 ilustra el estado de la red en cuanto a su deterioro superficial. Estas mediciones se realizaron en cada una de las carreteras y se calculó el valor IRI cada cien metros. En la página web ([www.lanamme.ucr.ac.cr](http://www.lanamme.ucr.ac.cr)) está toda la información de cada una de las carreteras evaluadas.

**Figura N° 3: Resultados nacionales del estado de deterioro superficial**

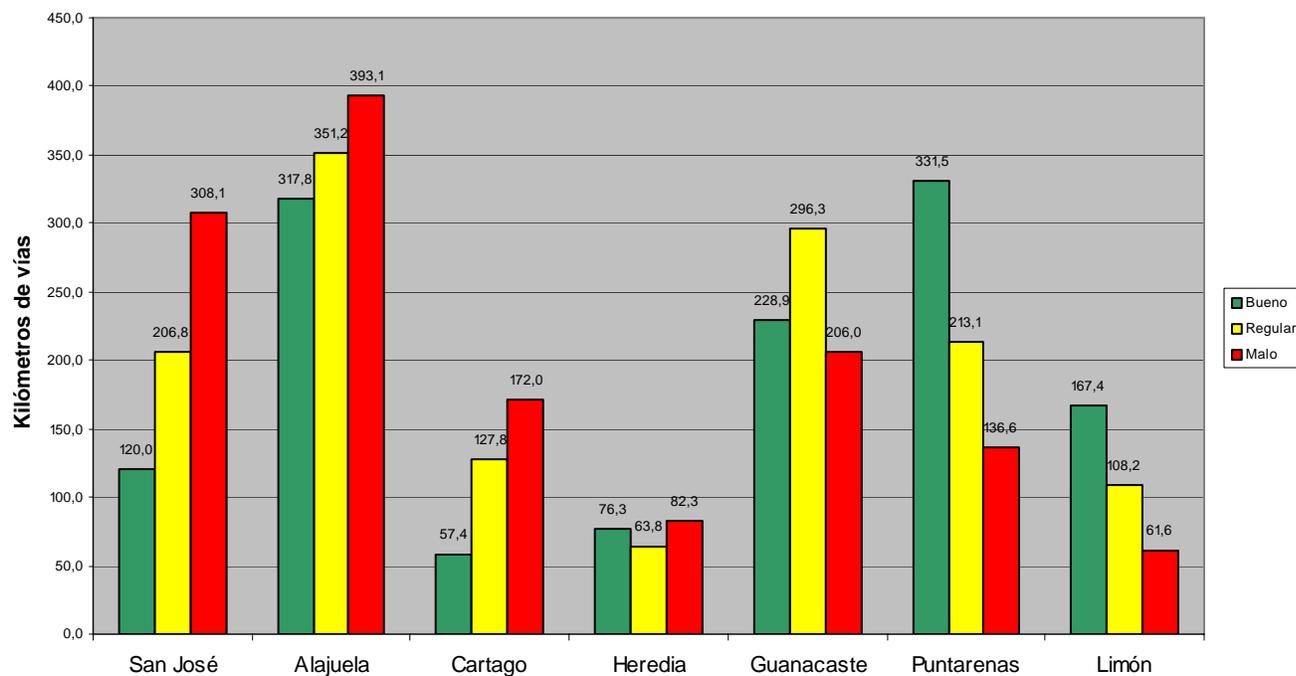


IRI (m/km)	km	%	Estado de la vía
Entre 0 - 3,0	1308,5	32,06	<span style="color: green;">■</span> Bueno
Entre 3,0–5,0	1385,6	33,95	<span style="color: yellow;">■</span> Regular
Mayor que 5,0	1386,8	33,98	<span style="color: red;">■</span> Malo

#### 4.1.3 Resultados, por provincia, de la evaluación del IRI como indicador del deterioro superficial

La figura N° 4 muestra la distribución por provincia del estado de deterioro superficial de las carreteras empleando el parámetro IRI. La tabla No. 2 por su parte contiene los datos con los cuales se formuló este gráfico.

**Figura N° 4: Resultados, por provincias, del estado de deterioro superficial, año 2004**



**Tabla N° 2: Resultados, por provincia, del estado de deterioro superficial, año 2004 (IRI en m/km)**

PROVINCIA	kilómetros de red	Cantidad de kilómetros		
		Bueno (IRI entre 0-3,0)	Regular (IRI entre 3,0-5,0)	Malo (IRI mayor que 5,0)
San José	634,9	120,0	206,8	308,1
Alajuela	1062,1	317,8	351,2	393,1
Cartago	357,2	57,4	127,8	172,0
Heredia	222,4	76,3	63,8	82,3
Guanacaste	731,2	228,9	296,3	206,0
Puntarenas	681,2	331,5	213,1	136,6
Limón	337,2	167,4	108,2	61,6
<b>TOTALES</b>	<b>4026,2</b>	<b>1299,3</b>	<b>1367,2</b>	<b>1360,7</b>

## 4.2 Capacidad estructural (resistencia) de la red vial nacional pavimentada

### 4.2.1 Criterios de clasificación de la red vial nacional según su capacidad estructural

La evaluación de la red vial nacional pavimentada con el deflectómetro de impacto se efectuó entre octubre del 2003 y mayo del 2004. Se evaluó la condición estructural de 3776,8 km, que constituyen el 96,0%<sup>3</sup> de la red vial nacional pavimentada.

Para determinar la condición en que se encuentra un tramo de carretera de acuerdo con este parámetro se emplearon los criterios mostrados en la tabla N° 3. Dos limitantes para hacer esta clasificación son la falta de información completa y actualizada en el MOPT-CONAVI sobre las capas que conforman el pavimento y la cantidad de vehículos que transitan por estas vías, lo que permitiría hacer una mejor clasificación del estado de las carreteras en función de los valores de deflectometría obtenidos.

**Tabla N° 3: Criterios de clasificación de la red vial según su capacidad estructural**

Valor de la deflexión mm <sup>-2</sup> (*)	Categoría de deflexiones	Resistencia capacidad estructural	Percepción del estado de la vía (**)
Entre 0 y 25	Bajas	Alta	Buena
Entre 25 y 45	Medias	Media	Regular
Entre 45 y 70	Altas	Baja	Mala
Mayor que 70	Muy altas	Muy baja	Pésima

(\*) Medida con el deflectómetro de impacto en centésimas de milímetro

(\*\*) Esta clasificación aplica especialmente para vías de volumen de tránsito medio y alto. Por falta de información en el MOPT no se puede separar la red según las diferentes categorías de tránsito

En la categoría deflexiones “bajas”, se incluyen los tramos de las vías que están en mejor condición en cuanto a su capacidad estructural para resistir el paso de los vehículos. En la categoría de deflexiones “altas” y “muy altas” se agrupan aquellos tramos que presentan menor capacidad (menor resistencia) y tienden a deteriorarse más rápidamente con el paso de los vehículos. Obviamente la categoría de deflexión media representa una condición intermedia entre las mencionadas.

<sup>3</sup> La medición no se puede realizar en rutas con deterioro extremo o condiciones de seguridad vial inadecuadas

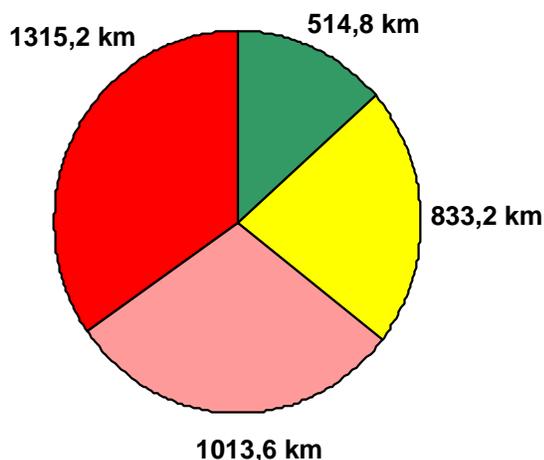
Las carreteras que presentan deflexiones medias, altas y muy altas deben ser sometidas a estudios para determinar el tipo de intervención que requieren, en función de la cantidad de vehículos que transitarán por ellas en el futuro.

Este análisis debe hacerse en un horizonte de largo plazo (20 años por ejemplo), dentro de un marco riguroso de planificación de inversiones, para asegurar que las vías se mantengan en buenas condiciones con los mínimos costos de inversión.

#### 4.2.2 Resultados nacionales de la evaluación de capacidad estructural

La figura N° 5 ilustra el estado de la red vial nacional en cuanto a su capacidad estructural (resistencia). Estas mediciones se hicieron para cada una de las carreteras cada cuatrocientos metros. El detalle de los resultados para cada una de las vías está en la página web ([www.lanamme.ucr.ac.cr](http://www.lanamme.ucr.ac.cr)).

**Figura N° 5: Resultados nacionales de la evaluación de la red vial nacional pavimentada en cuanto a su capacidad estructural (resistencia), período octubre 2003 a mayo 2004**



Deflexiones	km	%
■ Bajas	514,8	13,63
■ Medias	833,2	22,06
■ Altas	1013,6	29,49
■ Muy altas	1315,2	34,82

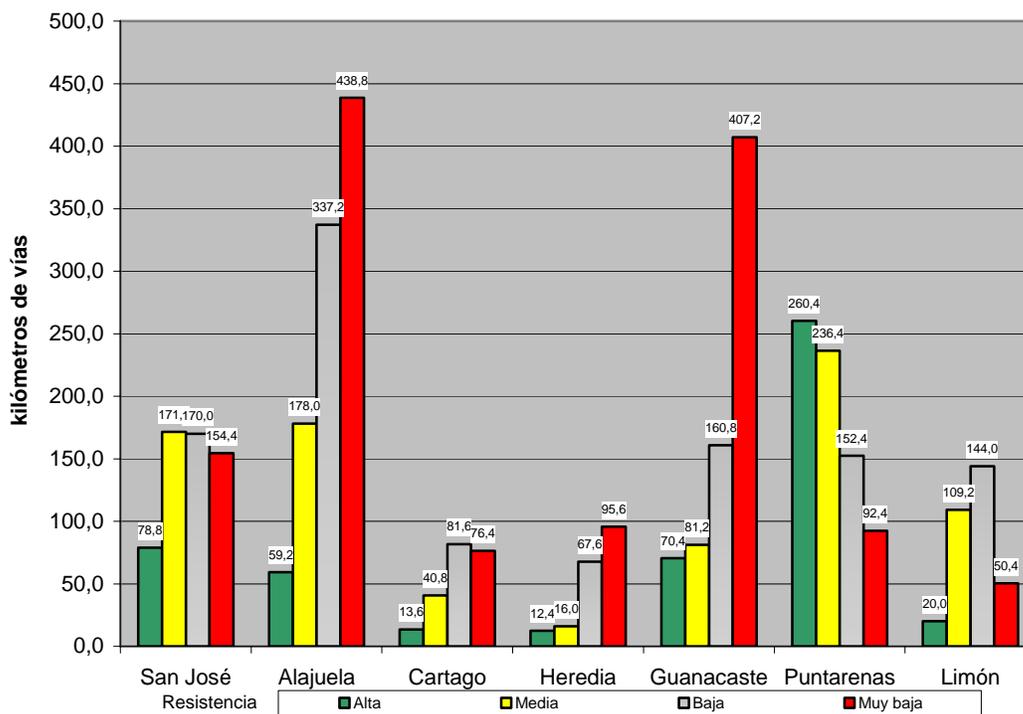
Resistencia (capacidad estructural) (*)
Alta
Media
Baja
Muy baja

(\*) Indica la capacidad para resistir el paso de los camiones

#### 4.2.3 Resultados, por provincias, de la evaluación de capacidad estructural

La figura N° 6 muestra la distribución por provincias de la capacidad estructural (resistencia) de las vías. La tabla N° 4 contiene los datos a partir de los que se formuló ese gráfico.

**Figura Nº 6: Resultados, por provincias, de la evaluación de capacidad estructural de la red vial nacional pavimentada, período octubre 2003 a mayo 2004**



**Tabla Nº 4: Resultados, por provincias, de la evaluación de capacidad estructural de la red vial nacional pavimentada, octubre 2003 a mayo 2004**

PROVINCIA	kilómetros de red	Cantidad de kilómetros			
		Resistencia alta	Resistencia media	Resistencia baja	Resistencia muy baja
San José	574,8	78,8	171,6	170,0	154,4
Alajuela	1013,2	59,2	178,0	337,2	438,8
Cartago	212,4	13,6	40,8	81,6	76,4
Heredia	191,6	12,4	16,0	67,6	95,6
Guanacaste	719,6	70,4	81,2	160,8	407,2
Puntarenas	741,6	260,4	236,4	152,4	92,4
Limón	323,6	20,0	109,2	144,0	50,4
<b>TOTALES</b>	<b>3776,8</b>	<b>514,8</b>	<b>833,2</b>	<b>1113,6</b>	<b>1315,2</b>

En la página web ([www.lanamme.ucr.ac.cr](http://www.lanamme.ucr.ac.cr)), en archivo digital, están disponibles todos los valores de deflexión obtenidos en cada una de las carreteras, para los análisis ingenieriles y de planificación que corresponda.

### 4.3 Ejemplos ilustrativos del estado de tres rutas nacionales

La interpretación de estos resultados se puede facilitar por medio de los siguientes ejemplos.

#### Caso 1: Ruta Bijagua-Upala-Finca Alexandra

Figura N° 7: Mapa de la condición de regularidad superficial

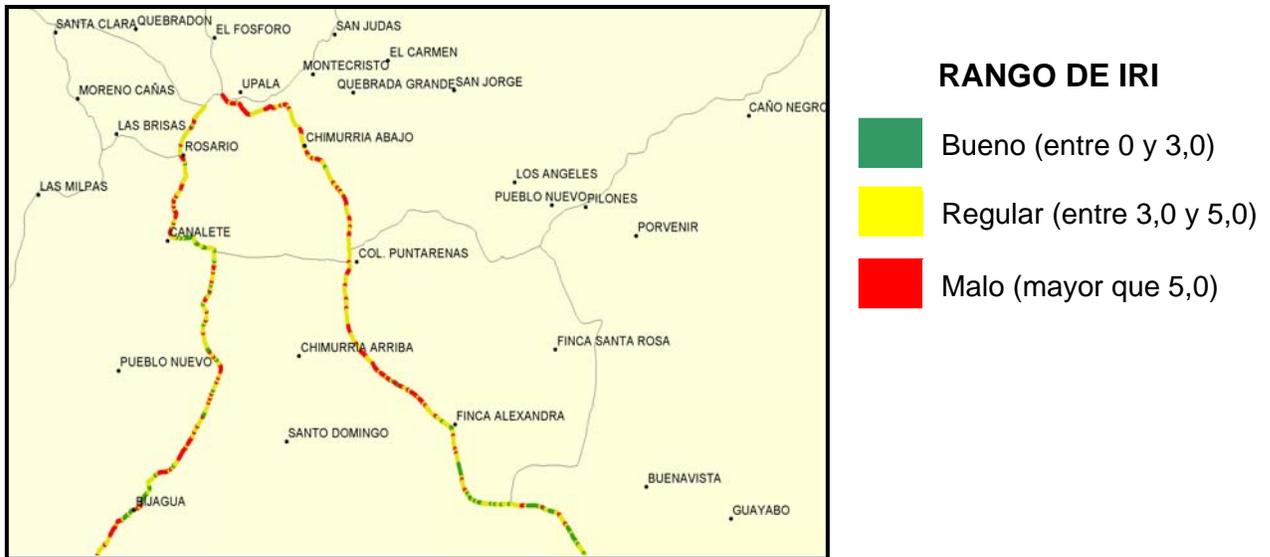
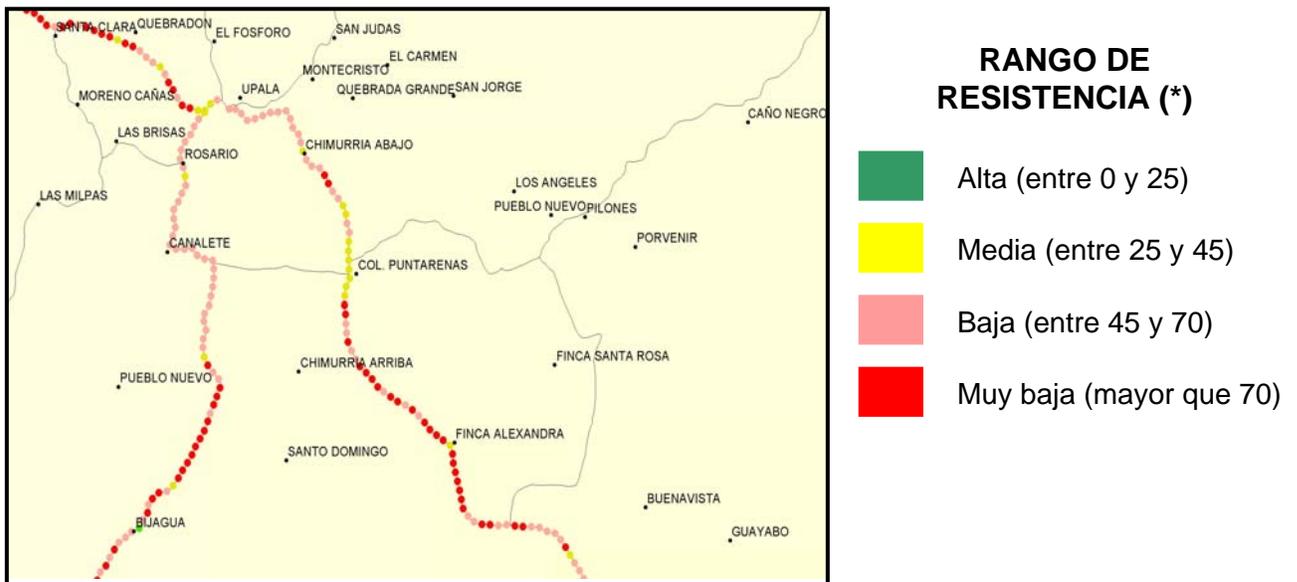


Figura N° 8: Mapa de la capacidad estructural (resistencia)



(\*) Capacidad para resistir el paso de los vehículos

**Caso 2: Ruta Pozón-Tárcoles-Punta Leona**

**Figura Nº 9: Mapa de la condición de regularidad superficial**



**RANGO DE IRI**

- Bueno (entre 0 y 3,0)
- Regular (entre 3,0 y 5,0)
- Malo (mayor que 5,0)

**Figura Nº 10: Mapa de la capacidad estructural (resistencia)**



**RANGO DE RESISTENCIA (\*)**

- Alta (entre 0 y 25)
- Media (entre 25 y 45)
- Baja (entre 45 y 70)
- Muy baja (mayor que 70)

(\*) Capacidad para resistir el paso de los vehículos

### Caso 3: Carretera Peñas Blancas-La Cruz-Santa Cecilia

Figura N° 11: Mapa de la condición de regularidad superficial.

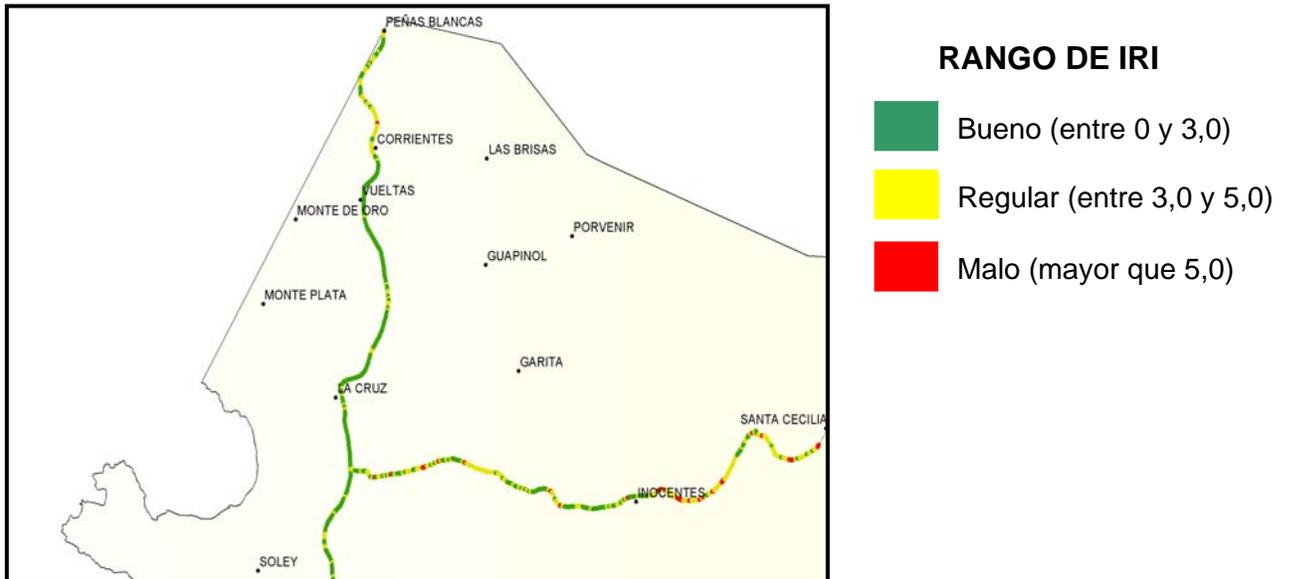
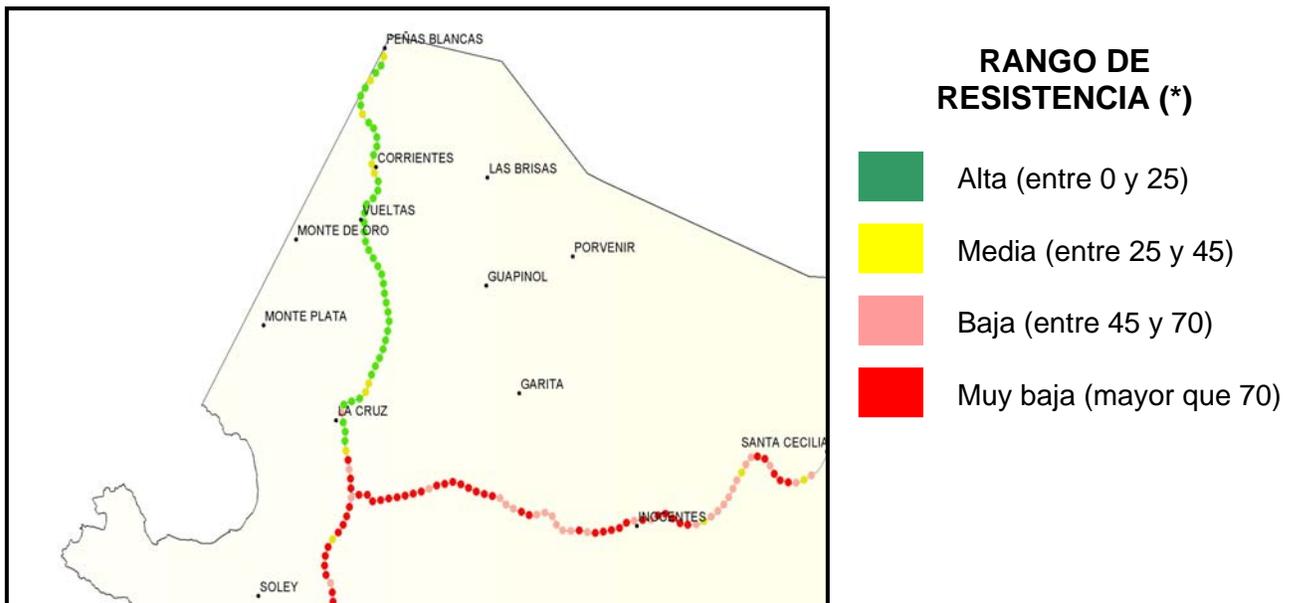


Figura N° 12: Mapa de la capacidad estructural (resistencia)



(\*) Capacidad para resistir el paso de los vehículos

## 5. RECOMENDACIONES

- La evaluación periódica de la red vial nacional constituye un instrumento de extraordinario valor y utilidad para que los contribuyentes del impuesto único a los combustibles, destinado a ese propósito específico, constaten con base en información científica el resultado final del uso prometido por la ley a ese tributo. La metodología presentada de evaluación del estado de la red de carreteras, además de ser una herramienta de muy alto valor técnico para hacer la ingeniería que requiere la red vial, sirve como instrumento objetivo (creíble) de rendición de cuentas de la gestión de la infraestructura vial, en términos de la calidad y eficiencia de las inversiones que realiza el país en este campo.
- Las campañas de evaluación de la red vial que en lo sucesivo se llevarán a cabo, van a permitir un seguimiento, con datos técnicos y objetivos, del proceso de deterioro o recuperación que experimentará nuestra infraestructura vial. Será posible contrastar el monto y la calidad de la inversión que se realice con el estado real en que se encuentre la red de carreteras en los próximos años. Se recomienda el uso de este nuevo instrumento como insumo para mejorar y facilitar la toma de decisiones técnicas, económicas y políticas en relación con la gestión del sistema vial del país.
- En la red nacional hay que introducir con prontitud un proceso de planificación formal, sistemático y técnico, con metodologías apropiadas de modo que garantice el uso correcto y eficiente de los recursos que se destinan a las carreteras así como el desarrollo sostenido del sistema vial, con visión de largo plazo.
- Es urgente que el país le brinde apoyo a las Municipalidades para que realicen un inventario y evaluación de la red vial cantonal (81 redes), equivalente al que aquí se presenta para la red nacional.
- Asimismo, es apremiante la necesidad de que el país cuente con un sistema de información actualizado y constante en el tiempo, acerca del tránsito promedio diario (TPD) de las distintas carreteras y autopistas del país y su composición vehicular, así como la información de las capas que conforman cada una de las rutas nacionales. Sin esta información es imposible realizar una adecuada planificación de la inversión en materia vial.

## **ANEXO A:**

**Fundamentos de la evaluación del IRI con el Perfilómetro Láser para medir la condición de regularidad de la superficie de rodamiento en vías pavimentadas**

## A.1 Descripción del equipo

El perfilómetro láser es un equipo de alta tecnología que permite evaluar la condición de deterioro de la superficie de rodadura de las carreteras. Para ello se determina el Índice de Regularidad Internacional (IRI). Este parámetro se utiliza internacionalmente para evaluar las redes de carreteras.

La importancia de este parámetro consiste en que:

- ❑ Permite dar seguimiento anualmente respecto al avance en el grado de deterioro o de recuperación que experimenta la red vial, lo cual tiene relación directa con los presupuestos que anualmente se destinan para conservar y mejorar la red vial.
- ❑ Sirve para orientar los programas de inversión, de cara a favorecer a los usuarios de las vías, por cuanto un nivel de deterioro de las vías con valor de IRI mayor a 3,5 implica un incremento sustancial en los costos del transporte y mayor nivel de deterioro de la flota vehicular.
- ❑ Aporta información muy importante para programar inversiones oportunas y de mínimo costo para la conservación en el largo plazo de las carreteras.

El IRI está directamente relacionado con el “confort” o comodidad que el usuario siente al manejar sobre la carretera. Es un excelente indicativo del nivel de servicio que proporciona la vía al usuario. El IRI, complementado con las mediciones de deflexión, permite evaluar la condición de un pavimento.

Las principales características del equipo son las siguientes:

- Determina el perfil longitudinal, perfil transversal, Índice de Regularidad Internacional (IRI), así como las roderas (deformaciones en forma de pequeños canales debido al repetido paso de las llantas).
- Los datos de perfil longitudinal y transversal tienen una precisión de 0,1 mm.
- El perfilómetro toma 16000 mediciones de perfil por segundo y almacena los datos cada 25 mm.
- Los resultados que despliega el equipo se basan en los datos almacenados cada 25 mm.
- Los resultados van a depender del valor del intervalo de cálculo de IRI: @ 100 m, @ 500m, etc.

### Fotografía A1: Perfilómetro láser

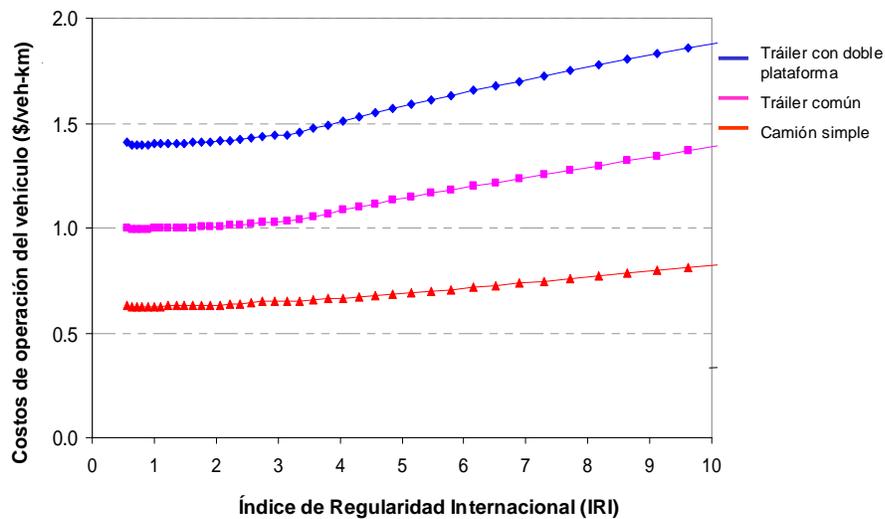


## A.2 Método de ensayo

El proceso de medición 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 determinado programa de simulación vehicular.

En particular, debe resaltarse que el parámetro de Índice de Regularidad Internacional, al alcanzar valores mayores de 3,0 en carreteras de alto volumen, determina que dicha carretera ya se encuentra en nivel de deterioro que demanda una pronta intervención. Además, entre mayor sea el valor del IRI, el costo de operación de los vehículos aumenta, y a partir de un valor de 3,5, la bibliografía internacional indica que el aumento de los costos del transporte se aceleran significativamente, lo cual se muestra en la figura A1.

**Figura A1: Costos de operación vehicular versus IRI**



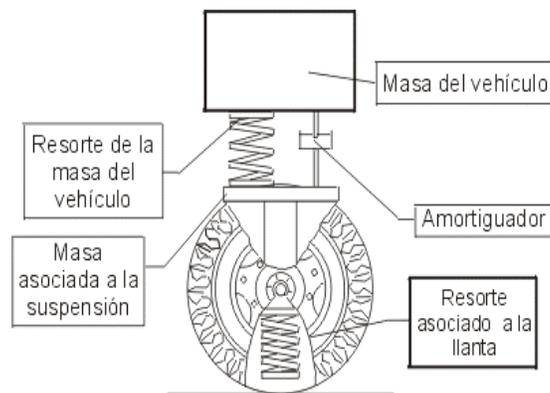
**Fuente: Washington State of Transportation**

### A.3 Modelo matemático

Se determina mediante un cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea del perfil longitudinal, obtenidas por cualquier técnica o equipo de medida del perfil longitudinal.

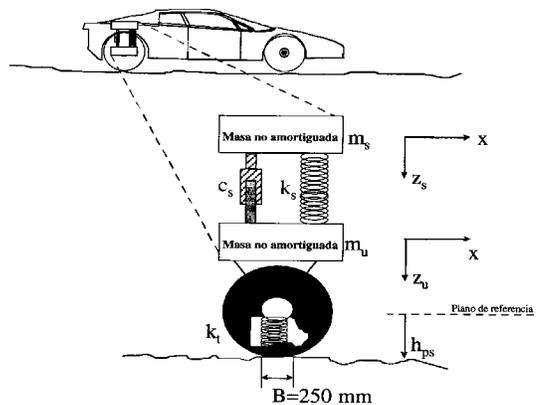
El modelo matemático empleado para determinar el IRI utiliza el método de “cuarto de vehículo”, que se indica en la figura A2.

**Figura A2: Modelo de cuarto de vehículo**



El modelo de suspensión de vehículo empleado, y su representación se muestra en la figura A3.

**Figura A3: Modelo de cuarto de vehículo**



Finalmente, el modelo matemático para determinar el IRI es el siguiente:

$$m_u \ddot{z}_u = k_s (z_s - z_u) + k_t (h_{ps} - z_u) + c_s (\dot{z}_s - \dot{z}_u)$$

## **ANEXO B:**

**Fundamentos de la evaluación de la resistencia  
del pavimento mediante el uso del  
Deflectómetro de Impacto**

## B.1 Descripción del equipo

El deflectómetro de impacto es un equipo de alta tecnología que mide la deformación que sufre el pavimento cuando se deja caer una cierta carga sobre él (fuerza de impacto).

En inglés se le conoce como Falling Weight Deflectometer, FWD, y el LanammeUCR posee el modelo DYNATEST 8002 FWD TEST SYSTEM. Este equipo se coloca sobre una carreta en un vehículo.

**Fotografía B1: Deflectómetro de impacto**



Los componentes del equipo son los siguientes:

- Plato de carga segmentado.
- 9 sensores para medir deflexión (en el plano "xy").
- 1 sensor para registrar la temperatura del aire.
- 1 sensor para registrar la temperatura de la superficie del pavimento.
- Dispositivo para medición de distancia .
- 1 GPS (Sistema de Posicionamiento Global).
- Permite variar los niveles de carga aplicados en cada punto de medición.

La importancia de medir estas deformaciones radica en el hecho de que están relacionadas con la capacidad estructural del pavimento. Las deformaciones que se esperan en un pavimento de reciente y adecuada construcción son ínfimas (décimas de milímetro), mientras que grandes deflexiones se pueden generar en un pavimento que ha perdido total o parcialmente su capacidad de soportar el paso de los vehículos que circulan sobre él. Un pavimento sin capacidad estructural es muy susceptible a deteriorarse, con la consecuente incomodidad para los usuarios al transitar sobre él, pero también aumentan los costos de transporte y requiere de grandes inversiones (evitables) para su rehabilitación.

La evaluación con el deflectómetro de impacto permite no sólo comprobar el estado de un pavimento viejo, lo cual ayuda enormemente en la escogencia y el diseño de las medidas correctivas; sino también en la fiscalización de los proyectos recientes, constituyendo un criterio técnico adicional para aceptar o rechazar la entrega de una nueva carretera.

## B.2 Método de ensayo

Este equipo cuenta con nueve sensores de deformación ubicados a diferentes distancias desde el punto de impacto, desde 0 hasta 180 cm. Los sensores tocan el pavimento mientras la carga lo golpea.

**Figura B1: Respuesta de la estructura del pavimento a la carga suministrada por el deflectómetro de impacto**



El deflectómetro puede ser operado manual o automáticamente y permite variar tanto la altura como la magnitud del peso aplicado. Además, este peso golpea sobre un plato cuyo tamaño también puede variar. El equipo permite su adecuación de acuerdo a las condiciones del pavimento y a los requerimientos que se le impongan a la prueba.

El procedimiento de medición se realiza con base en la Norma ASTM D 4694 "Standard Test Method for Deflections with a Falling Weight Type Impulse Load Device", 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.

## **ANEXO C:**

### **Composición del pavimento**

## C.1 Definición de estructura de un pavimento

Un pavimento está formado por un conjunto de capas de diferentes materiales con espesores definidos y con condiciones de drenaje, diseñado para cumplir con las siguientes funciones:

- Proveer una base de apoyo (fundación), de manera que las cargas de tránsito sean transmitidas a la sub-rasante (suelo) de manera amortiguada, para que el pavimento no se hunda ni se deteriore (grietas, huecos).
- Proveer un medio drenante, de manera que el agua de lluvia sea evacuada de la superficie de ruedo evitando el derrape de los vehículos cuando llueve (elemento estructural / funcional).
- Proveer una superficie de ruedo estable, segura y confortable (elemento funcional).

## C.2 Capas que componen un pavimento

**Tabla C1: Capas que componen un pavimento típico (\*)**

CAPA	PAVIMENTO FLEXIBLE (1)	PAVIMENTO RIGIDO (2)
Superficie de ruedo	<b>Mezcla asfáltica</b> de espesor variable (2,0 cm hasta 20,0 cm o más).	Losa de concreto hidráulico de 15,0 a 30,0 cm.
Base	<b>Base asfáltica</b> , base granular, o base estabilizada con un agente cementante.	<b>Base asfáltica</b> , base granular, o base estabilizada con un agente cementante.
Sub-base	Sub-base granular.	Sub-base granular.
Sub-rasante	Corte o relleno.	Corte o relleno.

(1) Pavimento con superficie de ruedo asfáltica. La capa asfáltica en conjunto con las capas de soporte son las que soportan las cargas aplicadas por los vehículos (diseño de espesores).

(2) Pavimento con una capa de concreto como superficie de ruedo. La losa de concreto hidráulico aporta la mayor capacidad de resistencia a las cargas aplicadas por el tránsito.

(\*) Hay otros tipos de pavimentos como los adoquines y los tratamientos superficiales.

La siguiente figura ilustra las diferentes capas que conforman la estructura de un pavimento.

**Figura C1: Capas que componen un pavimento**

