

Año 2004

# Evaluación de la Red Vial Nacional de Costa Rica

Ing. Guillermo Loría  
Ing. Walter Robinson  
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
Universidad de Costa Rica

## 1. Introducción

Las opciones para el Desarrollo Nacional están directamente vinculadas con una correcta gestión de la Infraestructura Vial; esta requiere inversión, planificación, disciplina y evaluaciones periódicas.

La evaluación de cada una de las carreteras de la red vial, es una herramienta indispensable para el desarrollo y la conservación de esta infraestructura con el mínimo costo de inversión.

Para determinar el estado en que se encuentran las carreteras del país, en el año 2004, se usaron dos equipos de alta tecnología: el perfilómetro láser y el deflectómetro de impacto.

Con el primero (perfilómetro láser) se midió la condición de regularidad o uniformidad que presenta la superficie de rodamiento.

El segundo equipo de evaluación (deflectómetro de impacto) aplica un impacto mediante una fuerza de 4100 kg y registra la deflexión del pavimento. Con esta información y las características físicas de las capas del pavimento es posible determinar la capacidad estructural de éste.

## 2. Campaña de evaluación 2004

### 2.1 Objetivos propuestos

- Evaluar el estado actual de la red vial nacional pavimentada de Costa Rica 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 este parámetro.

### 2.2 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 con el perfilómetro láser y de ésta únicamente se excluyeron 249 km en la evaluación con el deflectómetro de impacto, primordialmente en vías con deterioro extremo y algunas otras que no presentan condiciones mínimas de seguridad



Para determinar el estado en que se encuentran las carreteras del país se usaron equipos de alta tecnología como el perfilómetro láser.

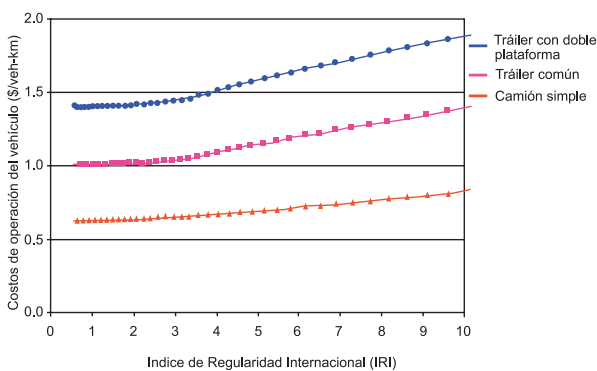
para realizar los ensayos. Los valores obtenidos son referencias válidas a partir de metodologías apropiadas e internacionalmente reconocidas.

### 2.3 Medición del IRI

Este parámetro es utilizado internacionalmente para evaluar la condición de deterioro de la superficie de rodamiento de las carreteras.

Su importancia radica en que hace posible una gestión planificada porque:

- Está directamente relacionado con el “confort” o comodidad que el usuario siente al conducir sobre la carretera. Es un excelente indicativo del nivel de servicio que proporciona la vía al usuario.
- Permite dar seguimiento al avance en el grado de deterioro o de recuperación que experimenta la red vial.
- Sirve para orientar los programas de inversión, 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. (Figura No. 1)



Fuente: Washington State of Transportation

Figura No. 1: Costos de operación vehicular versus IRI

Las principales características de la medición son las siguientes:

-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 van a depender del valor del intervalo de cálculo de IRI: @ 20 m, @ 100 m, etc.

#### 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.

#### Modo de cálculo

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 de éste.

El modelo matemático empleado para determinar el IRI, utiliza el método de “cuarto de vehículo”, que se indica en la figura No. 2.

El modelo de suspensión de vehículo empleado, y su representación se muestra en la figura No. 3.

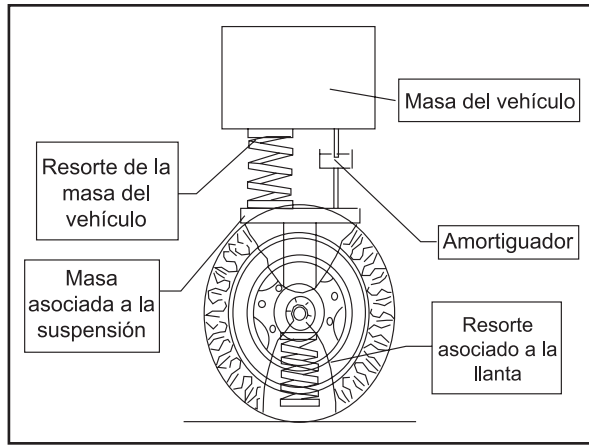


Figura No. 2: Modelo de cuarto de vehículo

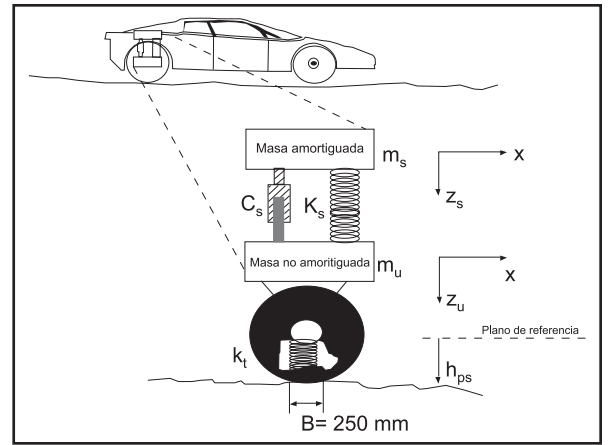


Figura No. 3: Modelo de suspensión

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

$$m_s \ddot{z}_s = k_s(z_u - z_s) + c_s(\dot{z}_u - \dot{z}_s)$$

Ecuación del movimiento de la masa amortiguada

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

Ecuación del movimiento de la masa no amortiguada

Donde las condiciones iniciales son:

$z_s$  y  $z_u$  se asumen iguales a la altitud del perfil al inicio del recorrido

$\dot{z}_u$  y  $\dot{z}_s$  se asumen iguales al cambio del perfil por segundo a una velocidad de simulación de 80 km/h (a una velocidad de 80 km/h se recorren alrededor de 11 m en medio segundo)

El deflectómetro de impacto mide la deformación que sufre el pavimento como consecuencia del golpe producido por la caída de una cierta carga.

Los parámetros del modelo de cuarto de carro son:

$$\begin{aligned} \mu &= m_u/m_s = 0,15 \\ k_2 &= k_s/m_s = 63,3 \text{ (s}^{-2}\text{)} \\ c &= c_s/m_s = 6,0 \text{ (s}^{-1}\text{)} \\ k_1 &= k_t/m_s = 653 \text{ (s}^{-2}\text{)} \end{aligned}$$

Las variables son:

- $c_s$  = razón de amortiguación
- $h_{ps}$  = elevación del perfil suavizado
- $k_s$  = razón de suspensión
- $k_t$  = razón de suspensión del neumático
- $m_s$  = masa amortiguada (carrocería del modelo)
- $m_u$  = masa no amortiguada (ruedas y eje)
- $z_s$  = altura de la masa amortiguada
- $z_u$  = altura de la masa no amortiguada





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.

#### 2.4 Medición de deflexiones

El deflectómetro de impacto mide la deformación que sufre el pavimento cuando se deja caer una cierta carga sobre él.

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.

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.

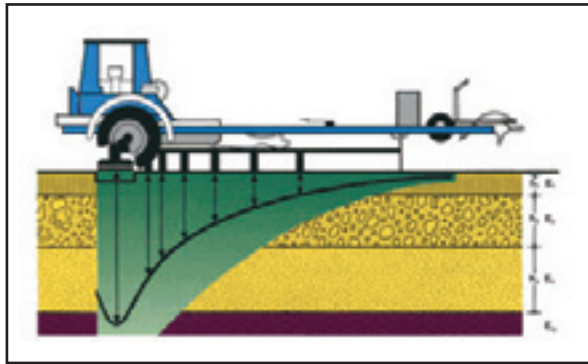


Figura No. 4: Deflectómetro de impacto

### 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.

Puede ser operado manual o automáticamente y permite variar tanto la altura como la magnitud de la carga aplicada. Además, el tamaño del plato también puede variar, se adecua de acuerdo con las condiciones del pavimento y 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.

## 3 Resultados obtenidos

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

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

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

(\*) Medidas realizadas con el perfilómetro láser

### 3.1.1 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 el estado de la carretera, se empleó el siguiente criterio:

- Un IRI = 3,0 equivale aproximadamente 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. 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 aproximadamente 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).

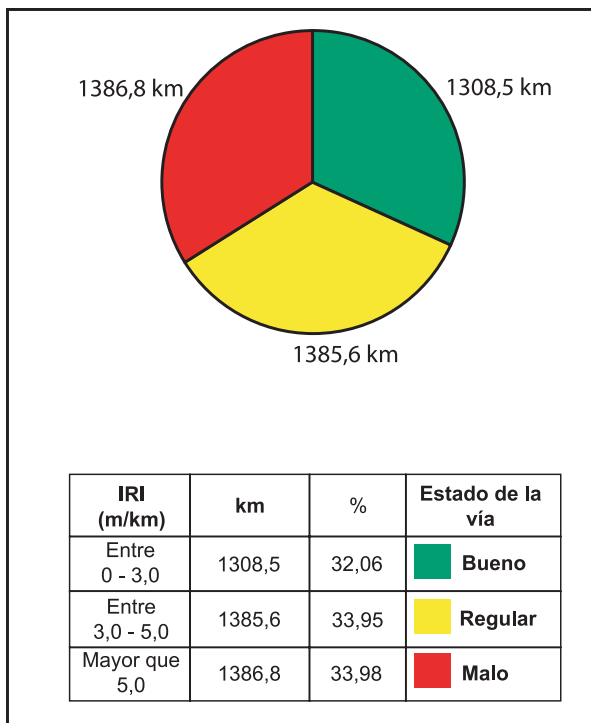


Figura No. 5: Resultados nacionales de la evaluación según el deterioro superficial

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

La figura N° 5 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 del 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.

## 3.2 Deflectometría de la red vial nacional pavimentada

### 3.2.1 Criterios de clasificación de la red vial nacional según sus deflexiones

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>2</sup> de la red vial nacional pavimentada.

<sup>2</sup> La medición no se puede realizar en rutas con deterioro extremo o condiciones de seguridad vial inadecuadas

Valor de la deflexión mm <sup>-2</sup> (*)	Categoría de deflexiones
Entre 0 y 25	Bajas
Entre 25 y 45	Medias
Entre 45 y 70	Altas
Mayor que 70	Muy altas

Tabla No. 2: Criterios técnicos para la clasificación de la red vial según la evaluación con el deflectómetro de impacto

(\*) 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

Para determinar la condición en que se encuentra cada carretera de acuerdo con este parámetro, se emplearon los criterios mostrados en la tabla N° 2. Dos limitantes para hacer esta clasificación son la falta de información completa y actualizada 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, considerando para ello el espesor y tipo de material

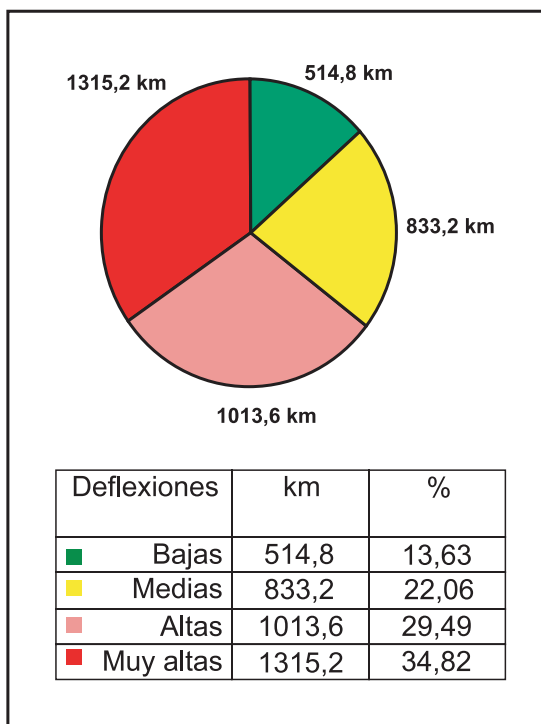


Figura No. 6: Resultados nacionales de la evaluación de la red vial nacional pavimentada en cuanto a la deflectometría, para el período de octubre del 2003 a mayo del 2004

que conforman las capas del pavimento, así como la intensidad del tránsito. En consecuencia la clasificación, según la Tabla No. 2, es de tipo general, para toda la red vial, sin considerar dichas particularidades.

Sucesivas campañas de evaluación, permitirán contar con información valiosa para la gestión de la red vial, así como para dar seguimiento a su condición de recuperación o deterioro en función de la inversión que se destine a las carreteras. Asimismo se incorporará en las próximas evaluaciones la medición del coeficiente de fricción del pavimento con el equipo denominado “grip tester”.

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

La figura N° 6 ilustra el estado de la red vial nacional en cuanto a su deflectometría. Estas mediciones se hicieron cada cuatrocientos metros para cada una de las carreteras. 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)).

### 3.3 Ejemplo ilustrativo

La interpretación de estos resultados se puede facilitar por medio del siguiente ejemplo: Carretera Peñas Blancas - La Cruz - Santa Cecilia.

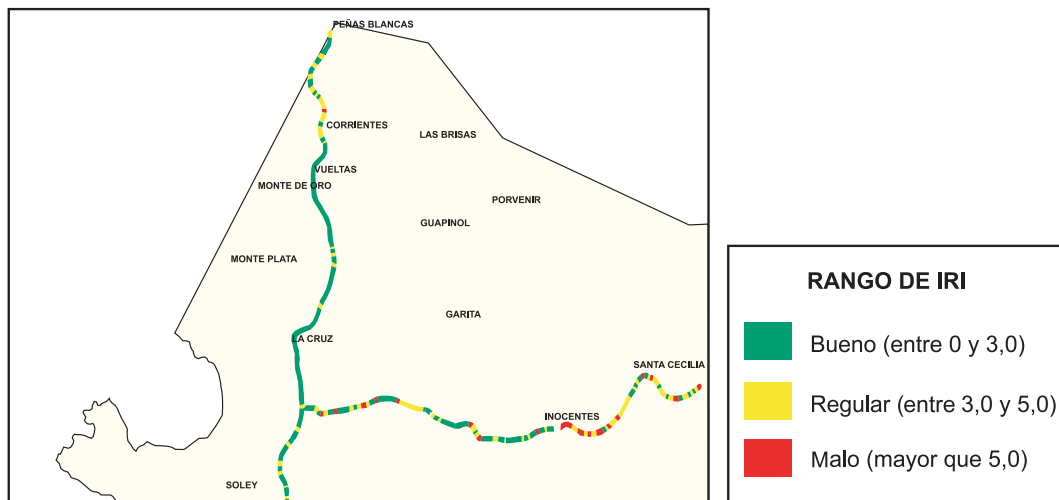


Figura No. 7: Mapa de condición de regularidad superficial

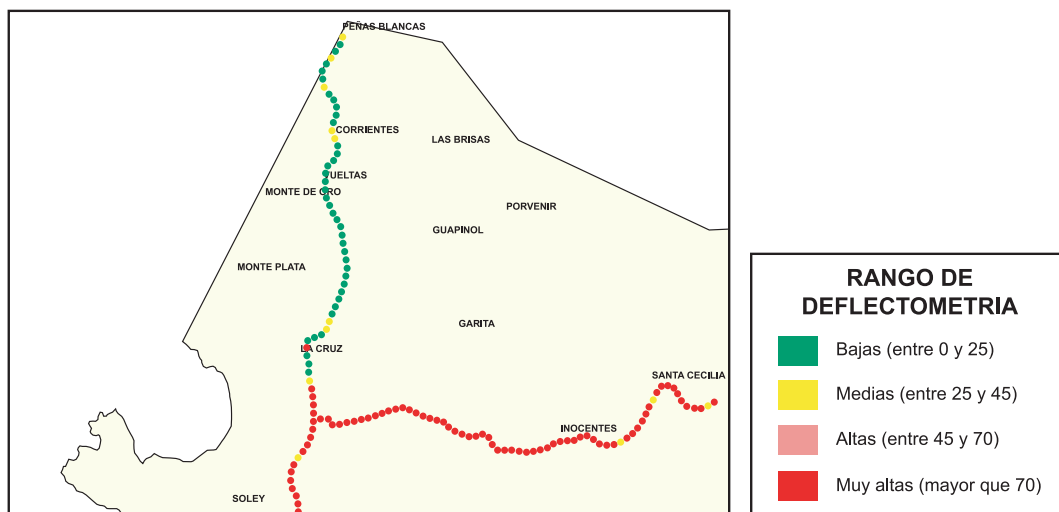


Figura No. 8: Mapa de condición de deflectometría