Universidad de Costa Rica

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR)

LanammeUCR

Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada

Año 2006

Noviembre 2006

Indice

Resumen 3

1. Introducción y Antecedentes 4

2. Objetivos de la campaña de evaluación 2006 4

2.1 Objetivo general 6

2.2 Objetivos específicos 6

3. Metodlogía y Alcances 7

3.1 Perfilómetro láser 7

3.2 Deflectómetro de impacto 9

4. Presentación de resultados de la Evaluación de la Red Vial Nacional 11

4.1 Condición superficial de la red vial según regularidad (IRI) 11

4.1a Criterios de clasificación 11

4.1b Resultados de la evaluación de la red vial con el ensayo de IRI 11

4.1c Resultados desglosados por provincia 12

4.2 Deflexiones de la red vial obtenidas mediante FWD 14

4.2a Criterios de clasificación 14

4.2b Resultados de la evaluación de la red vial eon el ensayo de FWD 15

4.2c Resultados desglosados por provincia 16

4.3 Ejemplos de los resultados de mediciones 17

4.4 Deflexiones de la red vial obtenidas mediante FWD, rutas en concreto 20

5 Comparación de los resultados a partir de las evaluaciones efectuadas en la red vial nacional pavimentada, campañas 2004 y 2006 28

5.1 Comparación del estado de la red vial 2004 y 2006, según la deflexión de los pavimentos 28

5.2 Comparación del estado de la red vial 2004 y 2006, según la condición de regularidad superficial (IRI) 32

6. Conclusiones y Recomendaciones 37

6.1 Conclusiones 37

6.2 Recomendaciones 38

RESUMEN

Bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar una evaluación cada dos años del estado de la red vial nacional pavimentada, la cual sirve como instrumento eficaz e imparcial de rendición de cuentas tanto de la gestión de dicha infraestructura como de la inversión pública realizada.

Los parámetros escogidos para realizar dicha evaluación están relacionados directamente con la vida útil de cada carretera medida, y con los costos de la flota vehicular que por ella circula. Así, el deflectómetro de impacto, el cual mide las deflexiones obtenidas al someter al pavimento a una fuerza que simula cargas de tránsito, permite indirectamente inferir la capacidad soportante de dicho pavimento, y con ello, la vida útil remanente en dicha estructura. Por su parte, el perfilómetro láser, el cual mide las irregularidades obtenidas en un tramo de carretera específico, se asocia tanto con el confort que siente el usuario que circula por dicho tramo, como principalmente con los costos de operación de dicho vehículo y de manera más general, con los de la flota vehicular que transita por una carretera dada.

Los resultados obtenidos en la campaña de evaluación muestran que, según los datos obtenidos por el perfilómetro láser, el estado superficial de la red vial es de aproximadamente un tercio de la longitud distribuida en cada uno de los rangos de regularidad dados: bueno, regular y pobre. Asimismo, según la evaluación con el deflectómetro de impacto, menos del 12% de la red vial presenta deflexiones bajas ante la carga impuesta, un 22% presenta deflexiones moderadas, y un 64% deflexiones altas. A falta de datos actualizados de tránsito (promedio, composición), no es posible estimar la vida útil remante para los distintos tramos que componen la red vial. Al comparar los resultados obtenidos en esta campaña con los de la campaña de evaluación 2004, el estado de la red presenta tendencias hacia el deterioro, lo que se evidencia con la longitud de rutas deterioradas (aproximadamente 120 kilómetros) más allá de la posibilidad de su evaluación con los equipos usados. Todo lo anterior evidencia una mala gestión tanto de la red vial (en aspectos como estado del pavimento, creación de nuevas rutas, gestión de riesgos naturales y de seguridad vial) como de los recursos utilizados en ella, cuyos logros deberían debieran reflejarse en la recuperación del patrimonio vial al corto y mediano plazo.

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 bienal del estado de la red vial nacional pavimentada. 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.

El estado de conservación o de deterioro de los pavimentos está relacionado directamente con la gestión implementada, y por tanto con el programa de inversiones e intervenciones que se ejecuta en la red vial nacional en un periodo dado. Así, la evaluación bienal del estado de la red vial se convierte en una herramienta eficaz para la rendición de cuentas de la gestión de dicha infraestructura, así como brinda a los ingenieros de caminos y planificadores viales una base técnica que facilita el tomar decisiones en relación con dicha gestión.

La primera campaña de evaluación de de la red vial con equipos de alta tecnología se realizó en el año 2002. El principal objetivo de esta campaña fue la calibración de los equipos y la revisión y comparación de los resultados con estándares internacionales, por lo que se recorrió un pequeño porcentaje de la red vial nacional pavimentada. La primera verdadera campaña de evaluación de la totalidad de la red se efectuó en el año 2004, donde fueron recorridos aproximadamente 4000 kilómetros (4081,3 km con el perfilómetro láser; 3776,8 km con el deflectómetro de impacto). Los resultados de dicha campaña mostraron que en condiciones superficiales (evaluación con el perfilómetro láser), aproximadamente la tercera parte de la red vial presentaba condiciones buenas, otra tercera parte condiciones regulares y el restante tercio condiciones pobres; mientras que la evaluación con deflectómetro de impacto dio como resultado que sólo 13,6% de la longitud evaluada tenía deflexiones bajas, 22,1% deflexiones moderadas y el restante 64,3% deflexiones altas y muy altas. Las provincias más afectadas en cuanto a condición de su red vial fueron Alajuela, Guanacaste y San José, que son también las provincias que por porcentaje presentan la mayor cantidad de red vial en comparación con las restantes.

La presente campaña de evaluación 2006 se instrumentó con el *Sistema de Posicionamiento Global* (GPS), con el objeto de mejorar la información relacionada con la ubicación de las mediciones. Adicionalmente, el GPS facilita el almacenamiento de datos en los *Sistemas de Información Geográfica* (SIG), lo que permite un manejo y análisis de la información más ágil. Además, los conocimientos adquiridos en las campañas de evaluación anteriores permitieron una mejor programación de la actual, con lo que fue posible recorrer mayor longitud de la red pavimentada (en total 4509 kilómetros, aproximadamente 500 kilómetros más que en el 2004) en el mismo tiempo disponible (Figura 1).

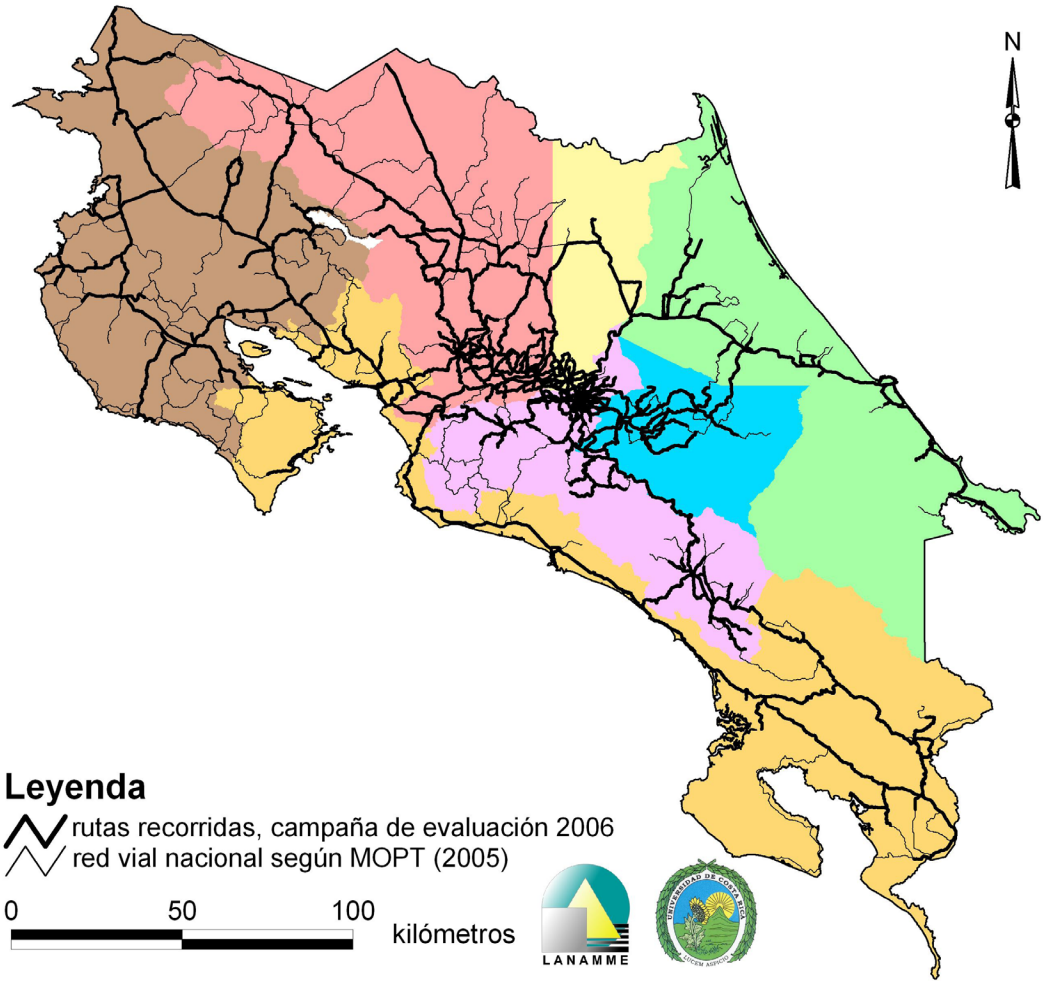


Figura 1. Rutas recorridas en la campaña de evaluación 2006, en comparación con la red vial nacional según MOPT (datos suministrados en el año 2005). Las rutas delgadas corresponden, según las giras realizadas por el LanammeUCR en los años 2005 - 2006, a rutas de grava y/o tierra

Los resultados obtenidos muestran que el estado de la red vial nacional pavimentada es muy parecido al estado en el año 2004, con tendencias hacia el deterioro más que a la recuperación. Con base en esto, y ante la falta de mejoras en infraestructura vial en este período, es evidente que el modelo de gestión y de inversión implementados no son los adecuados.

2. OBJETIVOS DE LA CAMPAÑA DE EVALUACIÓN 2006

2.1 Objetivo general

Conocer la evolución del estado de la red vial nacional pavimentada[1] *en el período 2004 – 2006 y su condición actual .*

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la resistencia estructural de los pavimentos de la red vial con el *Deflectómetro de Impacto* y clasificarla según los valores de las deflexiones medidas.

- Evaluar el estado de la regularidad superficial de los pavimentos de la red vial con el *Perfilómetro Láser*, y clasificarla en rangos de estado.

- Comparar el estado de los pavimentos de la red vial en cuanto a su resistencia estructural y su regularidad superficial, contrastando los resultados de las evaluaciones efectuadas en los años 2004 y 2006.

1 En adelante, conocida únicamente como red vial

3. METODOLOGÍA Y ALCANCES

En la presente campaña de evaluación de la red vial, la metodología empleada siguió un modelo similar al utilizado en la campaña 2004. Con los conocimientos adquiridos en dicha campaña, se procedió a realizar una serie de giras por todo el país cuyo objetivo fue trazar el recorrido de todas las carreteras de la red vial con el *Sistema de Posicionamiento Global* (GPS), dado que los mapas digitales con que se contaba están desactualizados y presentan una escala básica inadecuada para el tipo de trabajo que este proyecto requiere. El criterio seguido de elección de rutas se basó en la información de carreteras de la red vial, suministrada por el MOPT a mediados del año 2005.

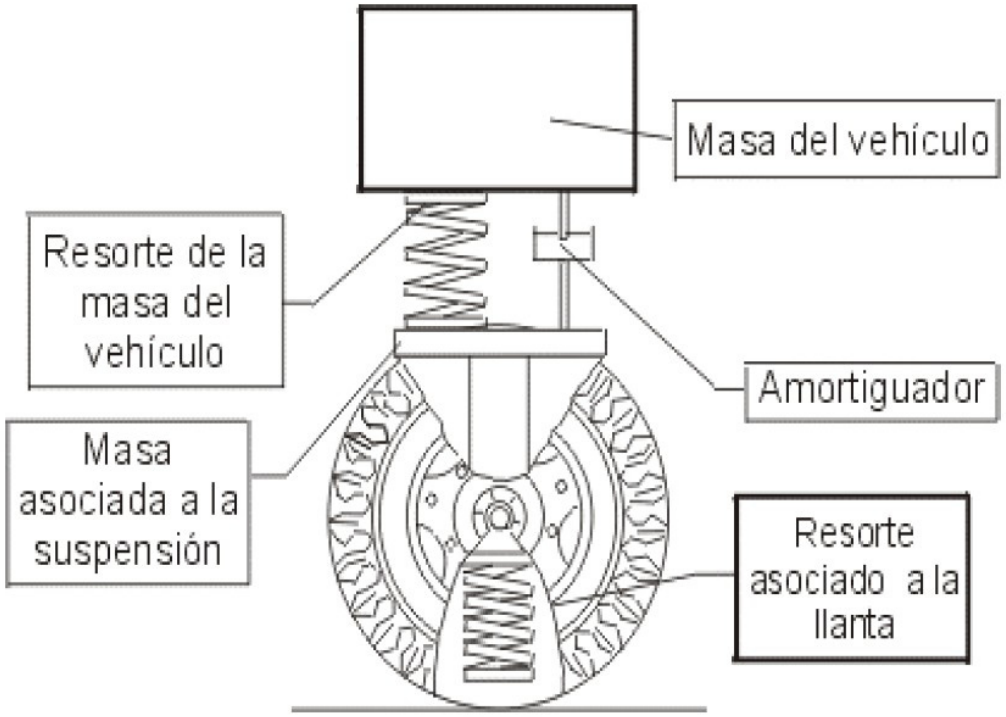
El siguiente paso consistió en la planificación de las giras de evaluación para cada uno de los equipos. El cronograma de dichas giras se ajustó al cronograma seguido en la campaña del 2004; el objetivo de esto es que las condiciones de humedad y temperatura estacionales en cada zona fueran lo más parecidas posibles entre campañas, para darle validez a la comparación de los resultados obtenidos. Definido el mismo, se procedió al levantamiento de información de campo con los equipos que se detallan a continuación:

3.1 Perfilómetro Láser

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 definide 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.

El modelo de IRI usado internacionalmente se basa en un modelo matemático conocido como el *modelo del cuarto de vehículo*, dado que modela y calcula las deflexiones del sistema mecánico de suspensión para *una* rueda en un vehículo normal de pasajeros (Figura 2). Los movimientos verticales de esta suspensión modelada son acumulados y divididos por la distancia recorrida, dando un índice con unidades de pendiente (metros sobre kilómetro o pulgadas sobre milla)

Figura 2. Modelo del cuarto de vehículo, utilizado como estándar en las mediciones de regularidad superficial, para simular las defelxiones en un sistema de suspensión de un vehículo de pasajeros



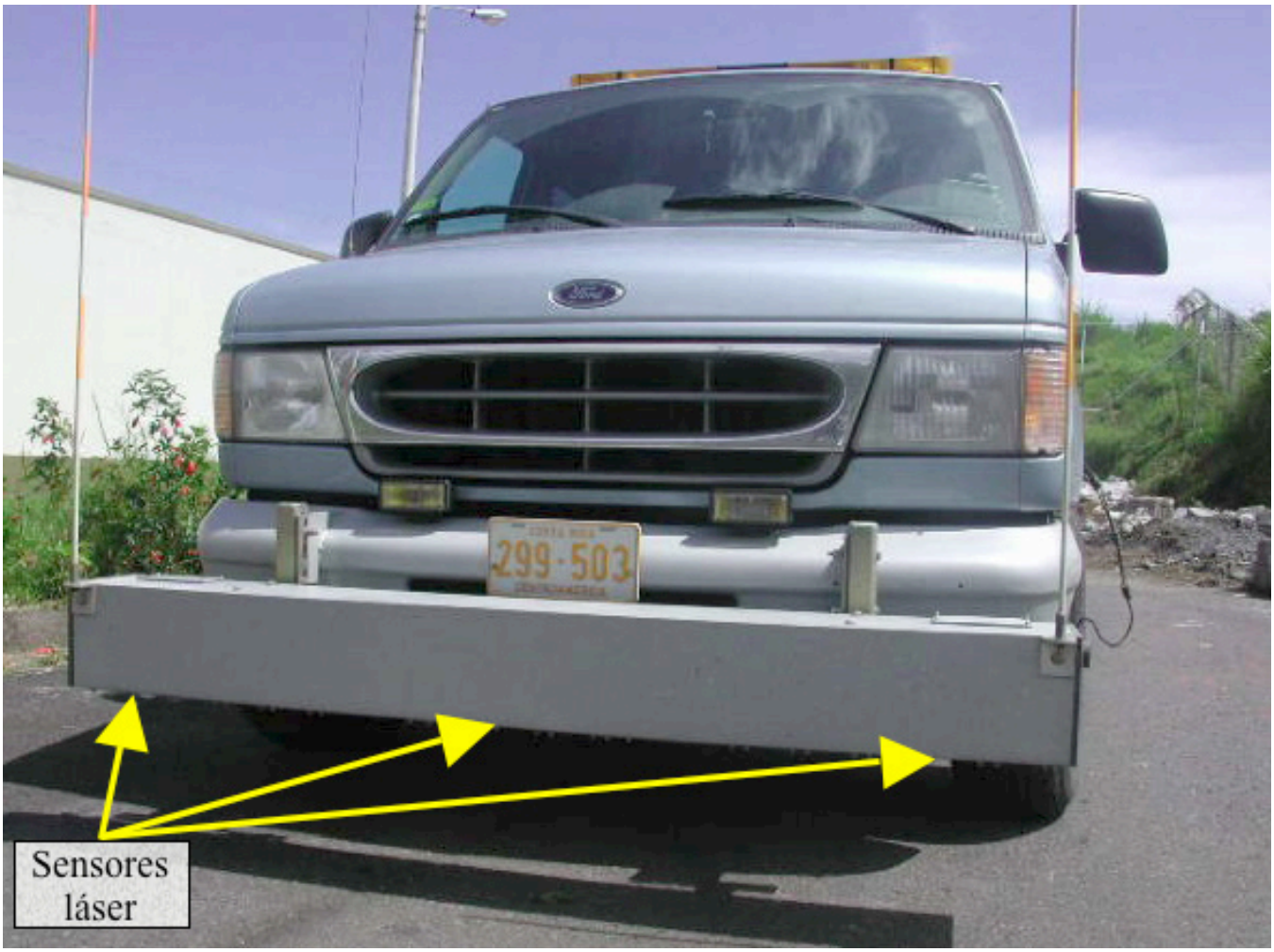
El valor de IRI de 3,0 $^{m}/_{km}$ equivale a un Índice de Calidad de Servicio de un tramo (PSI por sus siglas en inglés, y dado según la metodología de la AASHTO[2]) de 3,0. Este valor representa el nivel de deterioro al final de la vida útil de diseño de un tramo de carretera con alto volumen de tránsito, como autopistas, y es utilizado en muchos países como indicador de intervención en mantenimiento para dicho tramo, dado que valores de IRI mayores a 4,0 $^{m}/_{km}$ suponen el inicio acelerado de los incrementos en los costos de operación de la flota vehicular que transita por dicha carretera o tramo. El valor de IRI de 5,0 $^{m}/_{km}$ equivale a un PSI de 2,0, que en carreteras de medio a bajo volumen de tránsito indica el nivel de deterioro al final de su vida útil de diseño. Valores menores de PSI se asocian con un significativo aumento del proceso de deterioro global de la carretera, así como mayores costos de inversión para retornar dicha infraestructura a niveles normales de servicio.

La Figura 3 muestra el equipo empleado por el LanammeUCR en la evaluación de la red vial, 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. Los mismos 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[3]. 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.

2 AASHTO: American Asociation of State Highway and Transportation Officials

3 El proceso de medición del Índice de Regularidad Inernacional 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

Figura 3. Perfilómetro láser



3.2 Deflectómetro de Impacto

Un indicador muy importante del comportamiento de los pavimentos, son las deformaciones que experimenta al ser sometido a esfuerzos normales de diseño. 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; todo 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 impactos 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)[4]. 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.

Figura 4. Deflectómetro de Impacto

Las mediciones en una carretera con el deflectómetro de impacto, se realizan en estaciones separadas 400 metros. Es importante notar que las deflexiones obtenidas, si bien sirven para inferir la capacidad estructural de un pavimento, no son el parámetro único, dado que se necesita además del conocimiento de la estructura interna del pavimento (capas componentes, materiales, espesores) y del tránsito (número de vehículos, composición de la flota), para poder estimar correctamente tanto su capacidad como su vida útil remanente.

4 El procedimiento de medición se realiza con base en la Norma ASTM D 4694 "*Standard Test Method for Deflextions 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.

4. PRESENTACION DE RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA RED VIAL NACIONAL

4.1 Condición superficial de la red vial según regularidad (IRI)

4.1a Criterios de clasificación

La evaluación de la Red Vial con el perfilómetro láser fue realizada entre los meses de marzo y junio del año 2006, y abarcó una longitud de 4395,1 km de carreteras pavimentadas. Los rangos de regularidad superficial de pavimentos están dados en la Tabla 1:

Tabla 1. Rangos de regularidad superficial para la Red Vial (IRI)

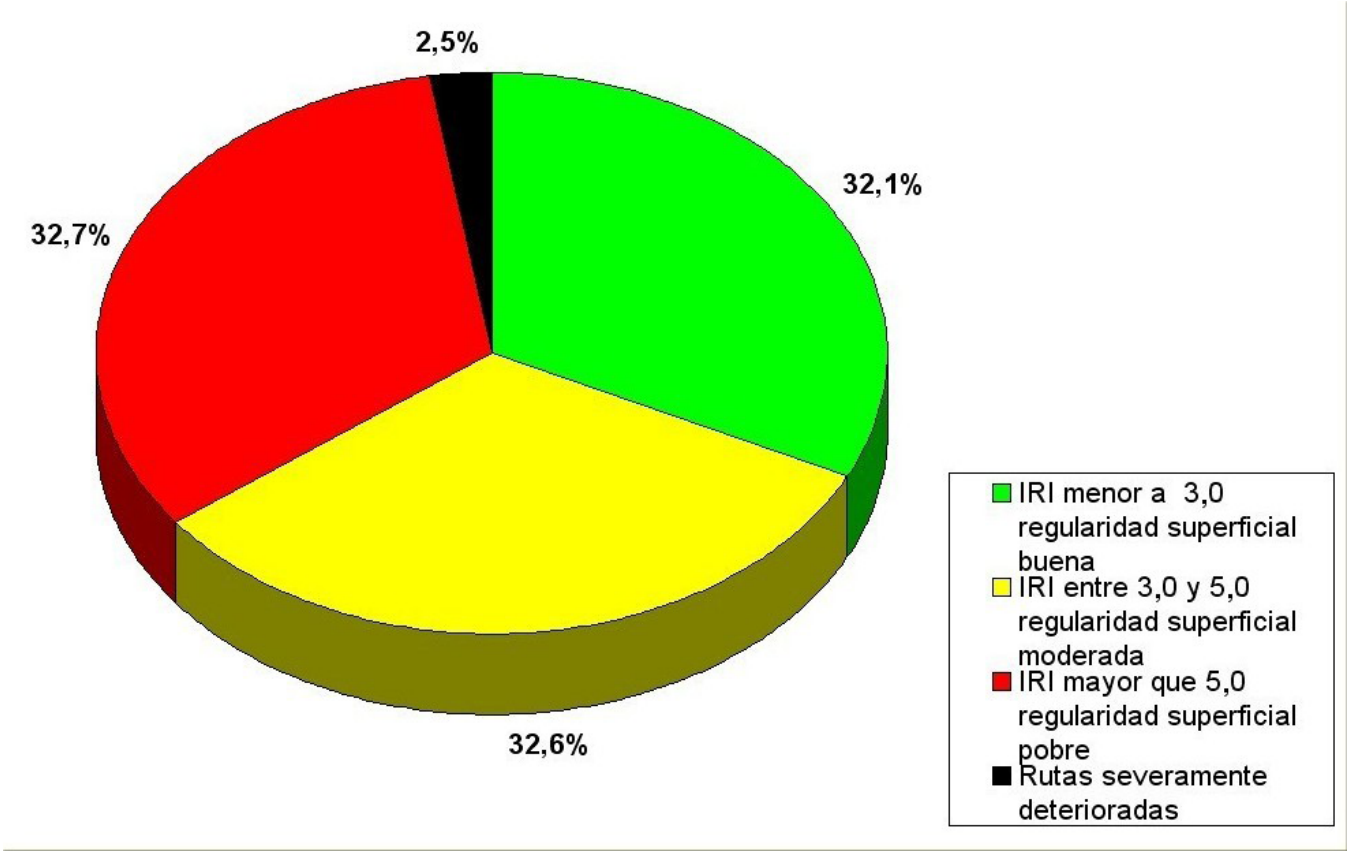
Rango de Regularidad m / km	Clasificación
menor a 3,0	Regularidad superficial buena
entre 3,0 y 5,0	Regularidad superficial moderada
mayor a 5,0	Regularidad superficial pobre

Los datos de IRI están dados 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.

4.1b Resultados de la evaluación de la red vial con el ensayo de IRI

La Figura 6 muestra el estado de la Red Vial con base en los datos obtenidos con el perfilómetro láser. En total, se evaluaron y procesaron con este equipo más de 44.000 secciones de 100 metros de longitud. Del total de longitud de la red vial, 113,9 km de rutas no pudieron ser evaluados debido al severo deterioro que experimentan.

Figura 6. Estado de la red vial según regularidad superficial (parámetro IRI), 2006



4.1c Resultados desglosados por provincia

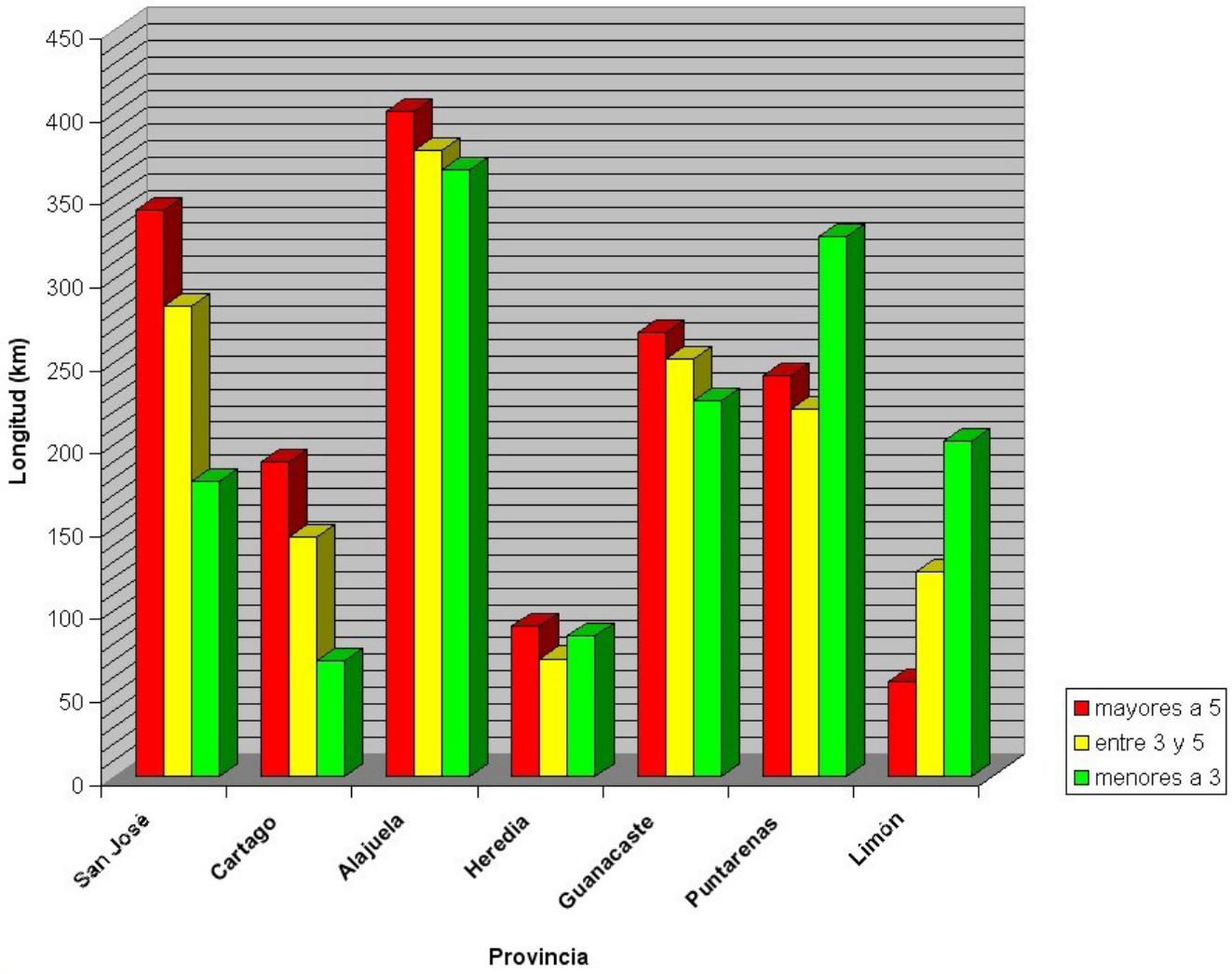
En la Tabla 2 se presentan los datos desglosados por provincia, mismos que aparecen en la Figura 7.

Tabla 2. Distribución de rangos de IRI por provincia, 2006

Provincia	km en cada rango de IRI ($^{m}/_{km}$)			km totales	porcentaje para cada rango de IRI ($^{m}/_{km}$)			
	menor de 3	entre 3 y 5	mayor de 5*		menor de 3	entre 3 y 5	mayor de 5*	% total**
San José	177,3	283,3	341,2	801,8	22,1	35,3	42,6	18,1
Cartago	69,0	143,7	189,3	402,0	17,2	35,7	47,1	9,1
Alajuela	365,4	377,6	401,1	1.144,1	31,9	33,0	35,1	25,9
Heredia	84,1	70,6	90,7	245,4	34,2	28,8	37,0	5,6
Guanacaste	225,9	251,4	267,6	744,9	30,3	33,8	35,9	15,9
Puntarenas	325,4	221,5	241,6	788,5	41,3	28,1	30,6	16,8
Limón	202,2	123,1	57,0	382,3	52,9	32,2	14,9	8,7
Totales	***1.449,3***	***1.471,2***	***1.588,5 ****	**4.509,0**	***32,2%***	***32,6%***	***35,2% ****	***100,0***

* longitudes y porcentajes para el rango de IRI mayor de 5, comprenden tanto los tramos evaluados como aquellos dentro de la Red Vial que por su avanzado deterioro, no pudieron ser evaluados en la presente campaña.
** se refiere al porcentaje de longitud de red vial pavimentada en cada una de las provincias.

Figura 7. Estado de la red vial por provincias según su regularidad superficial (parámetro IRI), 2006

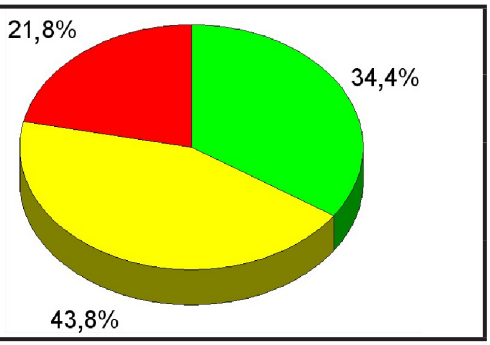


De la figura anterior se puede inferir la condición en que se encuentran los pavimentos en términos de regularidad superficial (deformaciones superficiales del pavimento), determinado a partir del índice internacional IRI. La mejor condición corresponde con valores de IRI menores a 3, mientras que la peor condición se asocia a valores de IRI mayores a 5.

Las Figuras 6 y 7, así como la Tabla 2, presentan los datos obtenidos para la totalidad de la red vial, tanto carreteras con pavimento asfáltico como con pavimento rígido (en concreto). En la Tabla 3 se indican los datos obtenidos para los 39,8 km de concreto evaluados en la presente campaña.

Tabla 3. Distribución de rangos de IRI para las carreteras de concreto evaluadas, 2006

	rango de IRI		
	menor de 3	entre 3 y 5	mayor de 5
longitud (km)	13,7 km	17,4 km	8,7 km
porcentaje (%)	*34,4 %*	*43,8 %*	*21,8 %*



4.2 Deflexiones de la red vial obtenidas mediante FWD

4.2a Criterios de clasificación

La evaluación de la red vial con el deflectómetro de impacto fue realizada entre los meses de setiembre del 2005 y febrero del 2006, y abarcó una longitud de 4388,4 km de carreteras pavimentadas, de los cuales 39,8 km corresponden a carreteras de concreto. Las mediciones se efectuaron cada 400 metros.

Los rangos de deflexión de los pavimentos están dados en la tabla 4.

Tabla 3. Rangos de Deflexión para pavimentos asfálticos de la Red Vial, según el ensayo de FWD

Rangos de Deflexión mm*	Categoría de Deflexión
menor a 0,25	baja
entre 0,25 y 0,45	moderada
entre 0,45 y 0,70	alta
mayor a 0,70	muy alta

* esta clasificación aplica a rutas con volúmenes de tránsito entre moderados y altos

Las vías que presentan valores menores de deflexión, son las que se encuentran en mejores condiciones de capacidad estructural. Por el contrario, aquellas que presentan valores altos de deflexión son las que se encuentran en condición más crítica, desde el punto de vista de su vida útil. La categorización presentada en la Tabla 3 se fundamenta en los siguientes parámetros técnicos:

- Período de vida útil: 12 años
- Repeticiones admisibles de carga: mayor a 900.000 ejes equivalente de 8.200 kg
- Modelo de fatiga para la capa asfáltica: Instituto del Asfalto
- Desviación estándar promedio de las deflexiones en tramos cortos de 200 metros: 13 * 10^{-2} mm

De lo anterior se concluye que en aquellas carreteras de volúmenes de tránsito medio o alto, las categorías de deflexiones altas o muy altas son críticas dado que requieren de intervenciones en el corto plazo, para así garantizar su vida útil en el largo plazo. Es además necesario realizar un análisis de vida útil remanente de la totalidad de la Red Vial, considerando características propias de cada carretera,

como materiales, espesores de las capas, clima y tránsito, entre otros; para así formular e implementar las estrategias de intervención que en cada caso se requieran. Con dichas estrategias, se debe lograr la recuperación y posterior conservación de la infraestructura vial mediante un programa efectivo de inversiones de largo plazo.

4.2b Resultados de la evaluación de la red vial con el ensayo de FWD

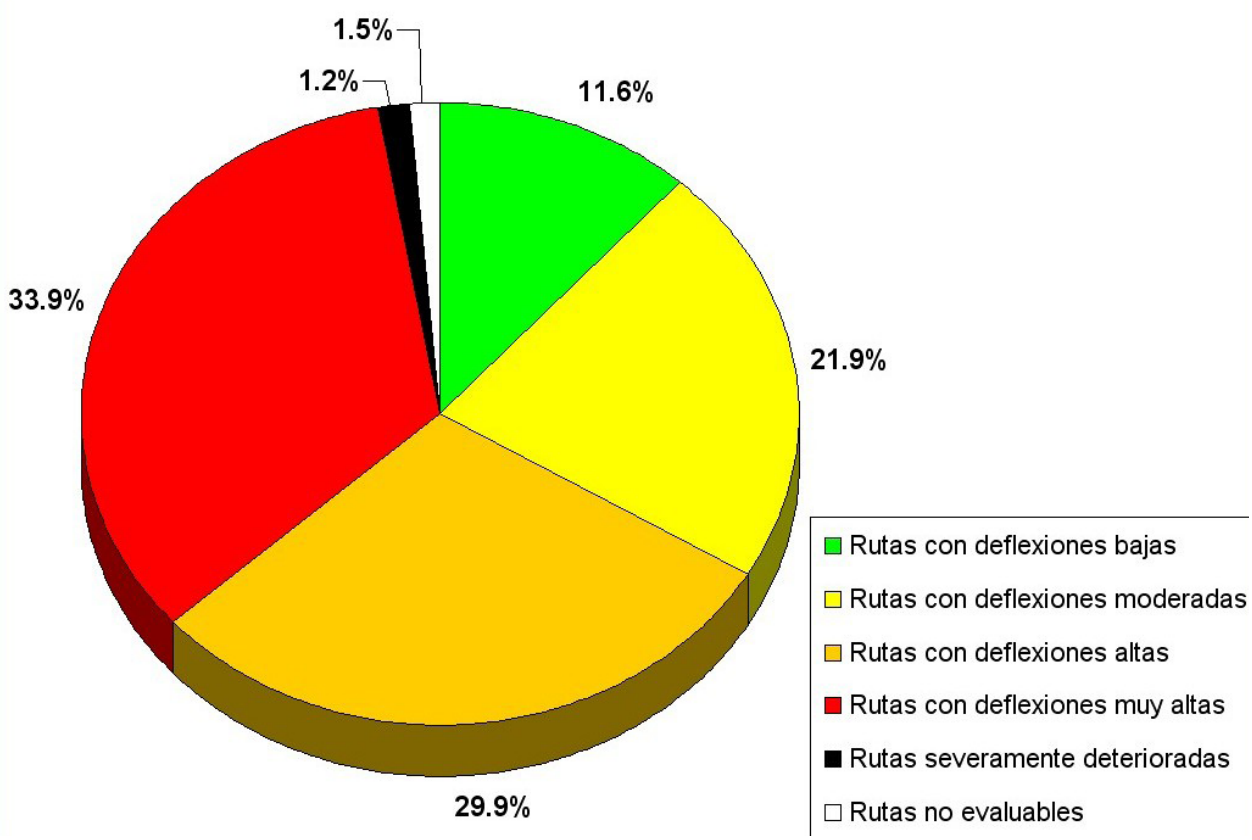
La Figura 8 muestra el estado de la Red Vial con base en los datos obtenidos con el deflectómetro de impacto. En total, se realizaron y procesaron más de 11.000 mediciones con dicho equipo; con respecto a las carreteras no evaluadas, que corresponden a 120,6 km, las mismas se encuentran en una de las siguientes categorías:

- rutas evaluadas en la campaña pasada, que por su estado avanzado de deterioro no pudieron ser evaluadas en la presente campaña, y que corresponden a 54,8 km de la red vial.

- rutas que no presentan las condiciones de seguridad vial mínimas para poder realizar los ensayos. Entre las condiciones que impiden realizar estos ensayos, se encuentran: carriles muy angostos, curvas con radios de giro muy pequeños, pendientes altas y falta de estructuras protectoras a orillas de terraplenes en zonas montañosas. Esta categoría representa 65,8 km de la red vial.

Debido a que los criterios de clasificación ya mostrados son sólo válidos para carreteras de pavimento asfáltico, los gráficos y tablas presentados a continuación corresponden sólo al total de dichas carreteras. La sección 4.4 trata sobre las deflexiones obtenidas para los tramos de concreto (hormigón) evaluados en la presente campaña.

Figura 8. Estado de la red vial según los valores de deflexión obtenidos (parámetro FWD), 2006



4.2c Resultados desglosados por provincia

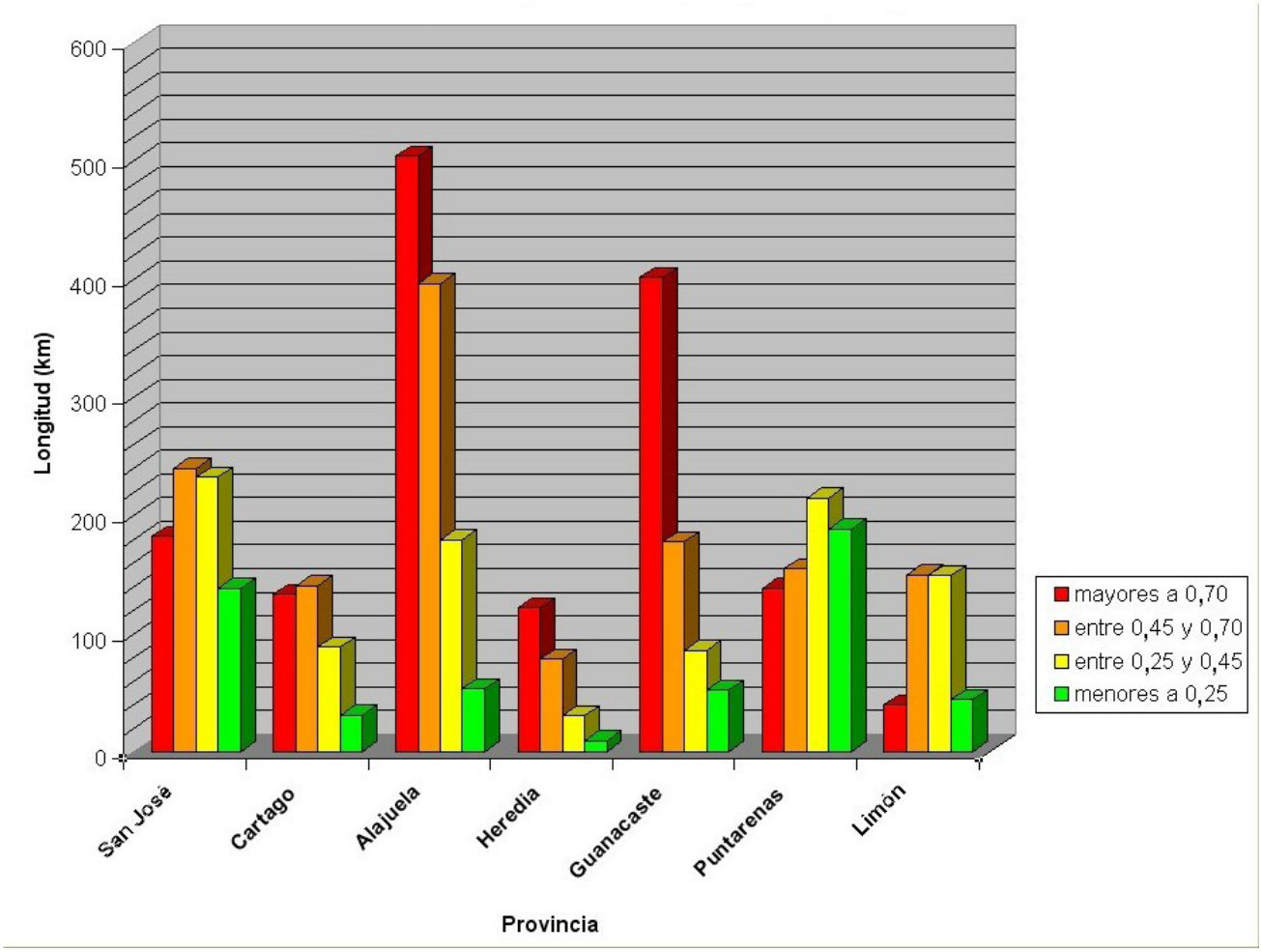
En la Tabla 4 se presentan los datos totales y desglosados por provincia, mismos que aparecen en la Figura 9.

Tabla 4. Distribución de rangos de deflexión para cada provincia, evaluación FWD 2005 - 2006

Provincia	longitud total (km)	km por rango de deflexión*				longitud no evaluable	Porcentaje por rango de deflexión*				no evaluable
		menor de 0,25	0,25 y 0,45	0,45 y 0,70	mayor de 0,70		menor de 0,25	0,25 y 0,45	0,45 y 0,70	mayor de 0,70	
San José	795,7	138,4	232,1	239,3	181,9	4,0	17,4	29,2	30,1	22,9	0,5
Cartago	392,8	31,0	88,5	140,6	132,7	0,0	7,9	22,5	35,8	33,8	0,0
Alajuela	1.147,5	52,9	179,2	395,8	503,2	16,4	4,6	15,6	34,5	43,9	1,4
Heredia	248,4	9,5	30,2	78,3	121,4	9,0	3,8	12,2	31,5	48,9	3,6
Guanacaste	715,7	51,8	85,4	177,7	400,8	0,0	7,2	11,9	24,8	56,0	0,0
Puntarenas	786,8	188,3	214,7	154,6	138,0	91,2	23,9	27,3	19,6	17,5	11,6
Limón	382,3	44,2	149,0	149,3	39,7	0,0	11,6	39,0	39,1	10,4	0,0
Totales	**4.469,2**	**516,1**	**979,2**	**1.335,7**	**1.517,6**	**120,6**	**11,6**	**21,9**	**29,9**	**33,9**	**2,7**

* deflexiones en mm

Figura 9. Estado de la red vial por provincias, según los valores de deflexión obtenidos (parámetro FWD), 2006



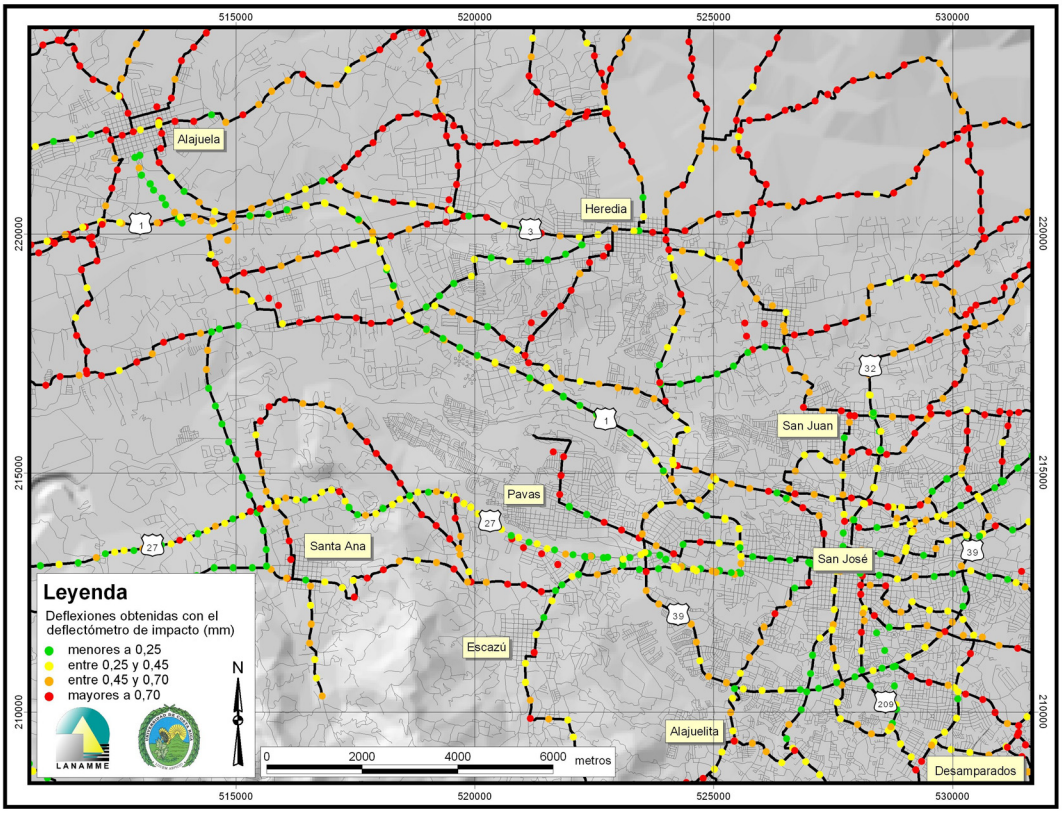
En la Figura 9 se observa que las carreteras de las provincias de Alajuela y Guanacaste presentan deflexiones altas y muy altas en aproximadamente 80% de su respectiva red. Así mismo, menos del 10% de dicha longitud corresponde a rutas con deflexiones bajas para las provincias de Cartago, Alajuela, Guanacaste y Limón, siendo el caso extremo el de la provincia de Heredia, con menos del 4% de sus rutas en el citado rango. Las provincias de San José y Puntarenas son las que presentan mayor longitud de vías con deflexiones bajas (pavimentos con mayor vida útil), siendo un 18% y 27% del total, respectivamente.

La distribución de los rangos de deflexión muestra que solo un 11% de la Red Vial presenta deflexiones bajas, mientras que aproximadamente un 63% se encuentran en las categorías alta y muy alta en cuanto a este parámetro.

4.3 Ejemplos de los resultados de mediciones

A manera de ejemplo, en las Figuras 10 a 15 que se presentan a continuación, se aprecia en forma gráfica los resultados de la evaluación con el deflectómetro de impacto y perfilómetro láser para 3 zonas específicas, como lo son las ciudades de San José y Alajuela (Figuras 10 y 11), Cartago y Turrialba (Figuras 12 y 13) y Puntarenas y Esparza (Figuras 14 y 15)[5].

Figura 10. Deflexiones obtenidas mediante FWD, zona San José, Heredia y Alajuela



5 Esta información se encuentra disponible en el LanammeUCR, con el nivel de detalle mostrado, para cada una de las carreteras de la Red Vial evaluadas.

Figura 11. Regularidad superficial (IRI) de los pavimentos, zona San José, Heredia y Alajuela

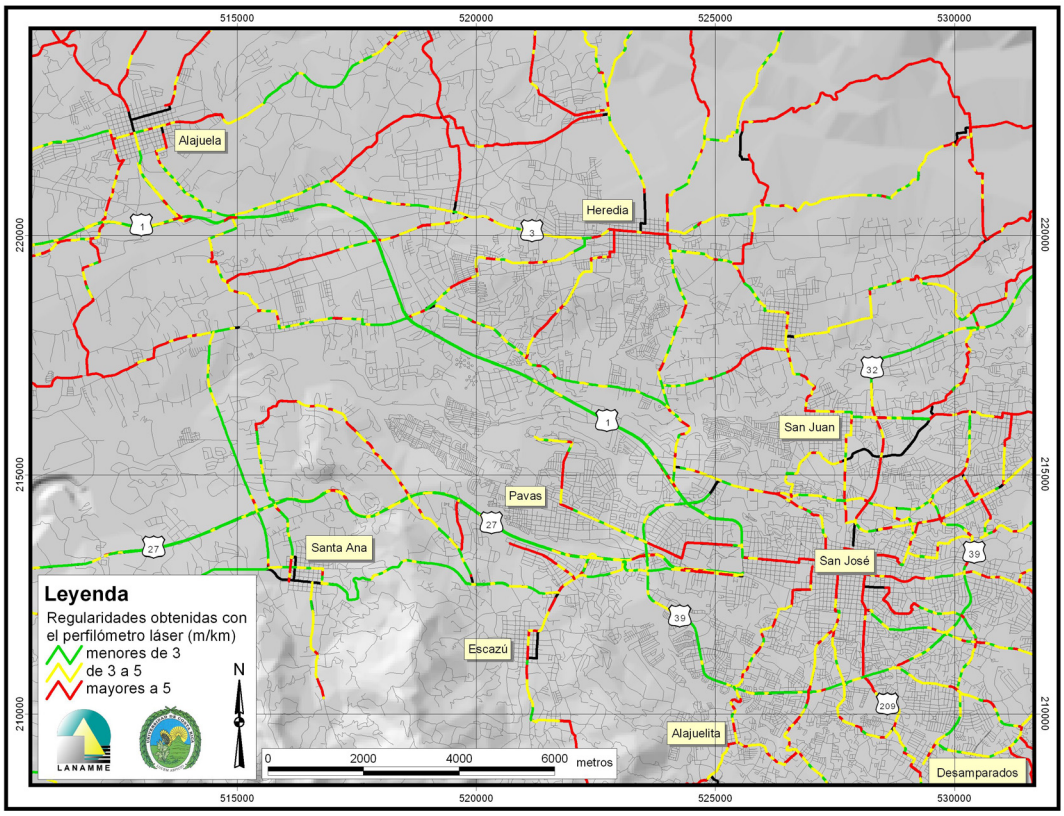


Figura 12. Deflexiones obtenidas mediante FWD, zona Cartago, Paraíso y Turrialba

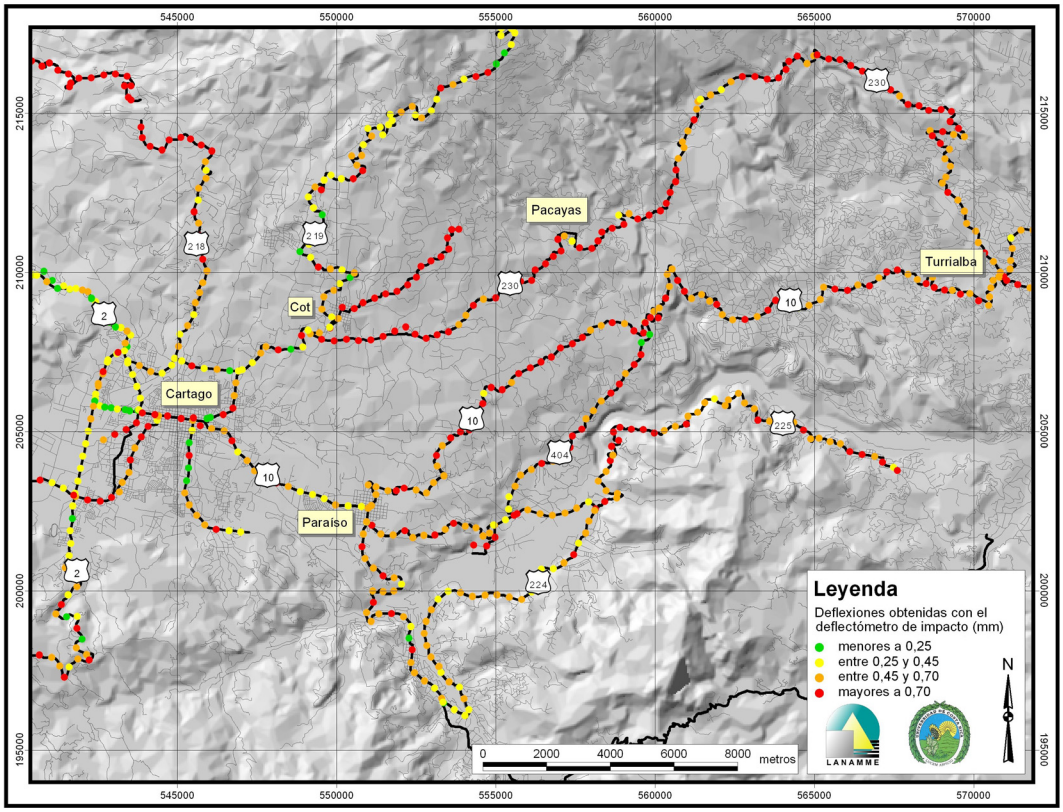


Figura 13. Regularidad superficial (IRI) de los pavimentos, zona Cartago, Paraíso y Turrialba

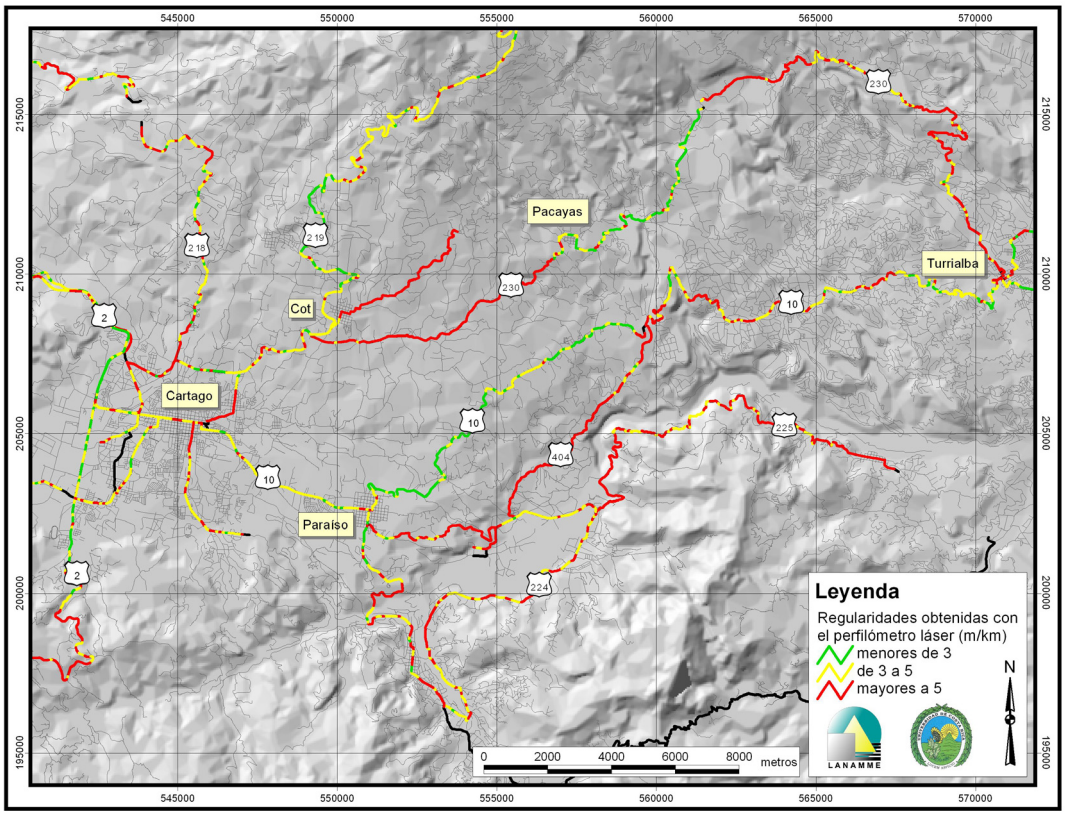


Figura 14. Deflexiones obtenidas mediante FWD, rutas Miramar, Esparza y Puntarenas

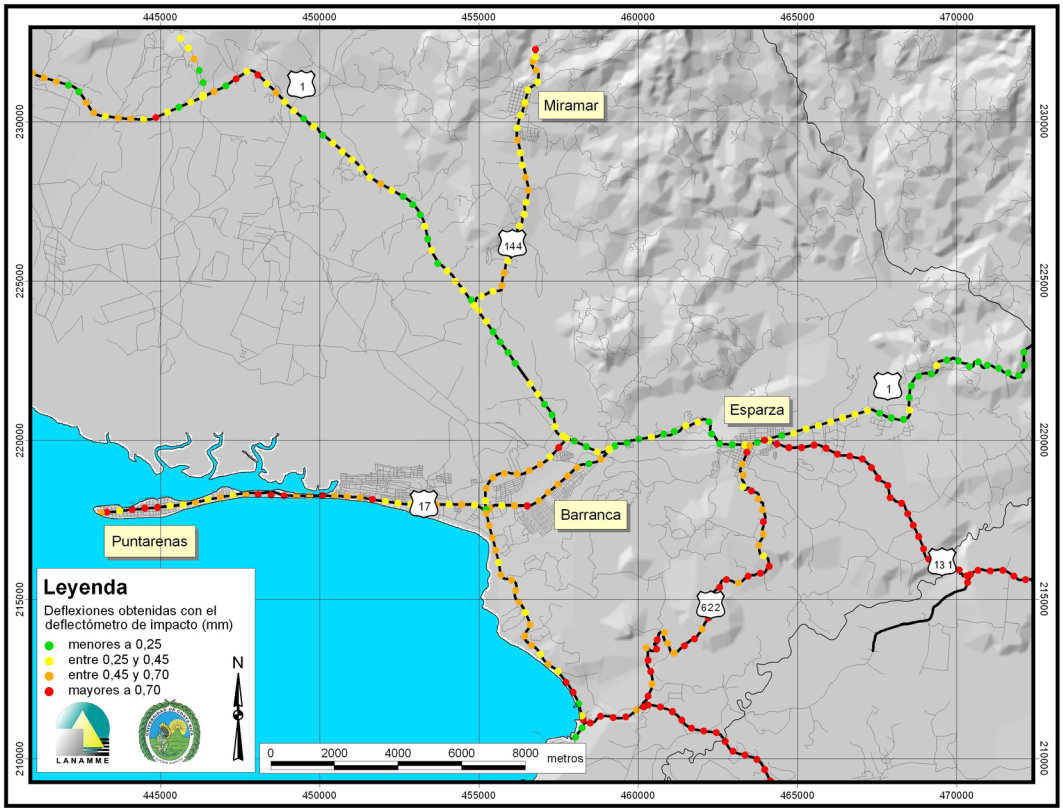
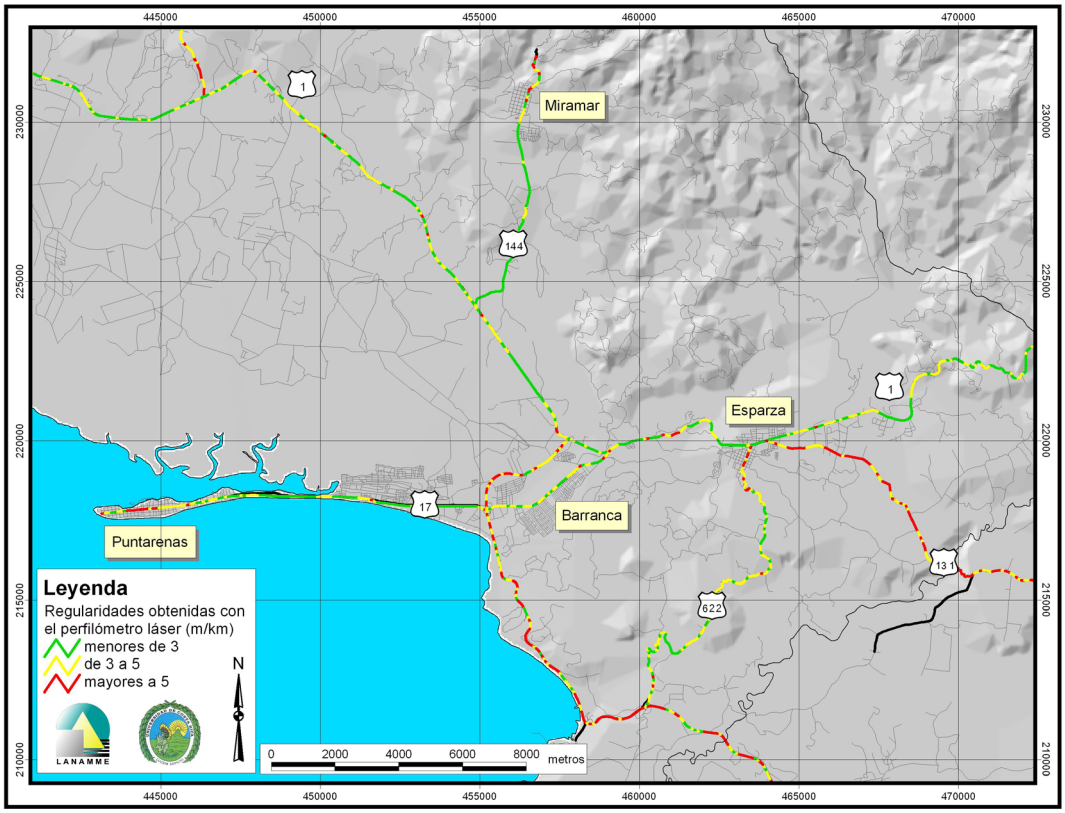


Figura 15. Regularidad superficial (IRI) de los pavimentos, zona Miramar, Esparza y Puntarenas



4.4 Deflexiones de la red vial obtenidas mediante FWD, rutas en concreto

Por la forma y rigidez que presentan las losas de concreto (hormigón) con que se construyen este tipo de pavimentos, el procedimiento para evaluar deflexiones mediante el equipo FWD es diferente al pavimento asfáltico: los tramos en concreto identificados dentro de la red vial son evaluados cada 400 metros; sin embargo, en cada sitio de medición se aplica la carga de impacto tanto en el centro de la losa, como en la junta entre losas; es decir, se realizan 2 mediciones en cada sitio.

Es importante hacer énfasis en que los resultados obtenidos de deflexiones para estos tramos no pueden ser comparados directamente con los rangos de deflexión dados para pavimentos asfálticos, por las razones antes mencionadas.

En la Tabla 5 se muestran los tramos en concreto evaluados en esta campaña.

Tabla 5. Rutas en concreto (hormigón) dentro de la red vial

Ruta	Longitud en m	Tramo
2	4.000	Dos tramos: de la entrada a Tres Ríos al Alto de Ochomogo, y del cruce de Taras al Alto de Ochomogo.
10	1.600	Ruta 2 (intersección de La Lima) a la ciudad de Cartago; ambos sentidos
18	19.400	Acceso al puente de La Amistad sobre el río Tempisque, desde la carretera Interamericana Norte, cerca del poblado de Limonal.
27	3.200	Carretera Próspero Fernández, desde La Sabana hasta la intersección con la ruta a Escazú.
32	2.800	Desde La República hasta el puente sobre el río Virilla.
111	4.000	Puente Francisco J. Orlich (carretera General Cañas) hasta la entrada a la ciudad de Heredia.
153	1.600	Aeropuerto Juan Santamaría hasta la entrada a la ciudad de Alajuela.
218	3.200	Guadalupe, desde la intersección a Moravia, hasta el Alto de Ipís.

Las Figuras 16 a 28 muestran los resultados obtenidos. Los estacionamientos mostrados están dados de acuerdo a la evaluación realizada por el LanammeUCR, por lo que no necesariamente coinciden con los establecidos por el MOPT. Como se puede observar de dichas figuras, varias rutas presentan deflexiones en el rango propio de los pavimentos asfálticos; mientras que otras, como la ruta 18 entre el poblado de Limonal y el puente sobre el río Tempisque, presenta un comportamiento de deflexiones a lo largo de su recorrido muy heterogéneo, lo cual podría estar relacionado con los materiales utilizados en la subrasante. Todo lo anterior se debe, en primer lugar, a la falta de mantenimiento que se le da a este tipo de pavimentos rígidos, ejemplo en sí mismo de una mala gestión vial; y después, a un mal control de calidad durante la construcción de la obra.

Figura 16. Deflexiones obtenidas, ruta 2, sentido Ochomogo - Cartago

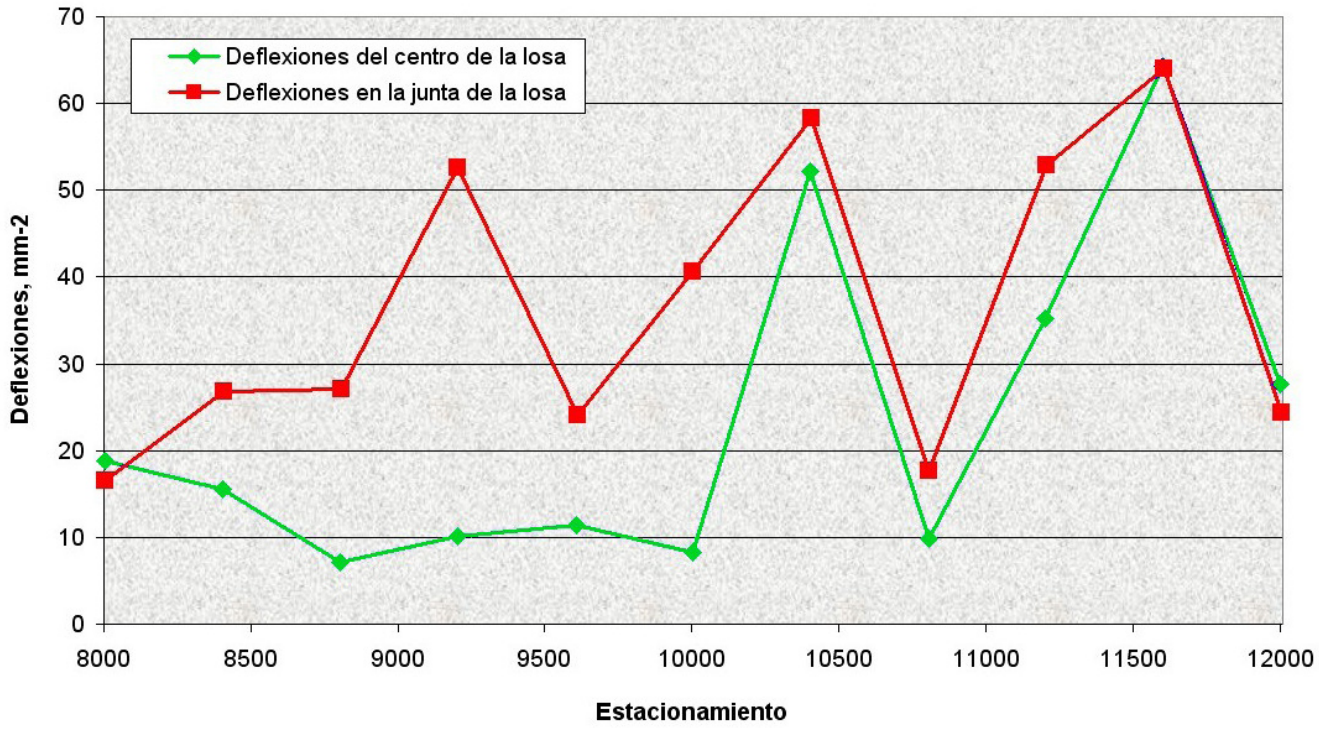


Figura 17. Deflexiones obtenidas, ruta 2, sentido Cartago - Ochomogo

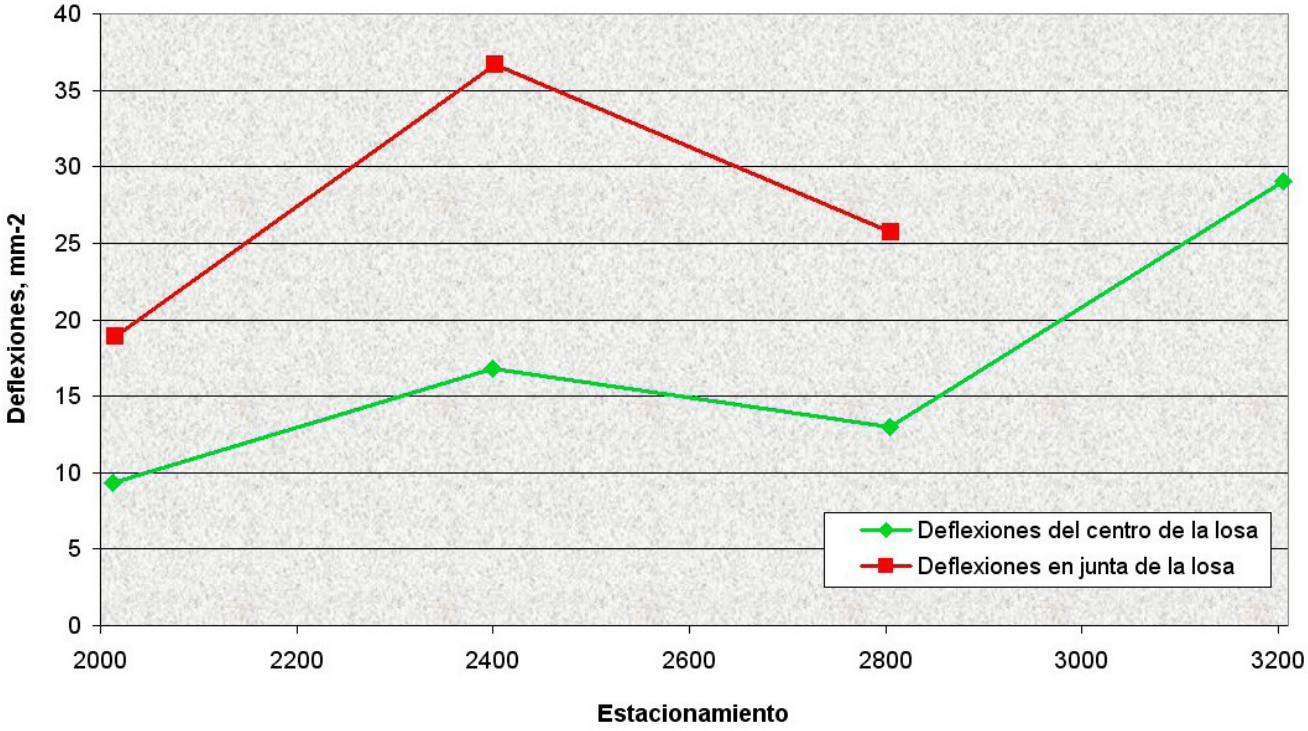


Figura 18. Deflexiones obtenidas, ruta 10, sentido La Lima - Cartago

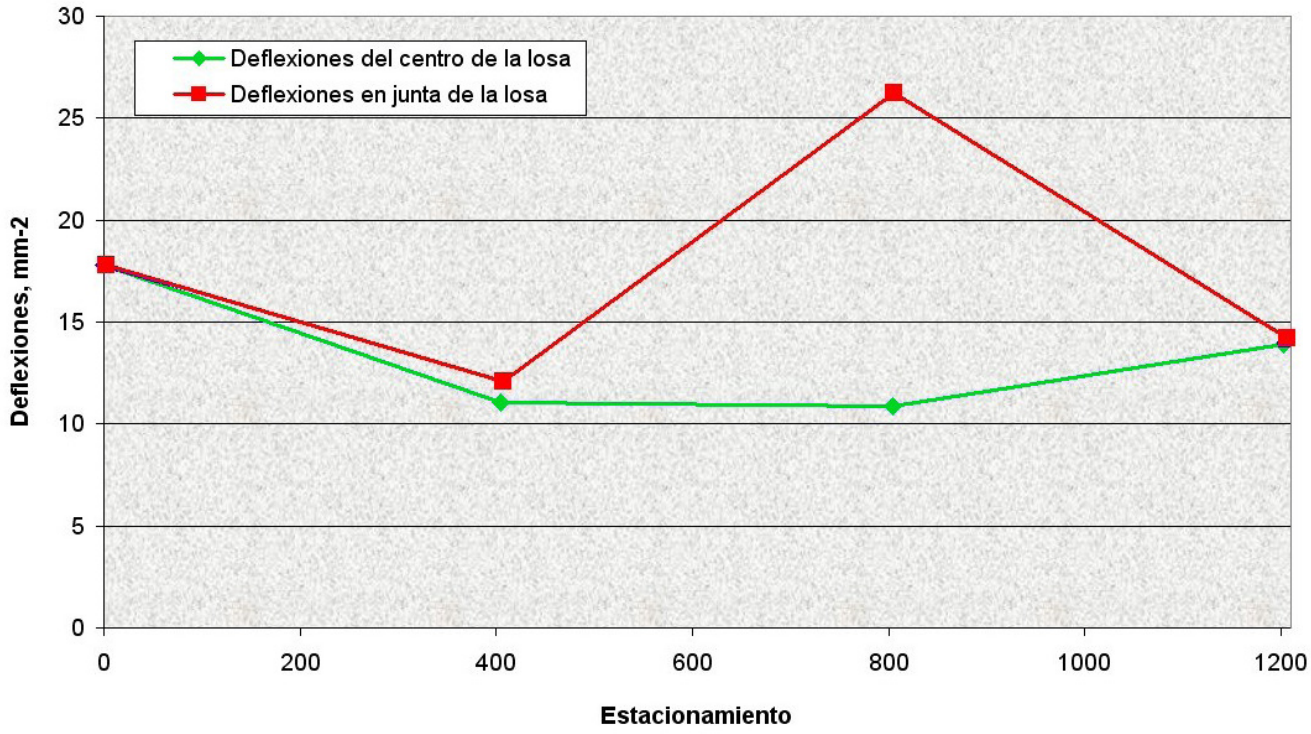


Figura 19. Deflexiones obtenidas, ruta 10, sentido Cartago - La Lima

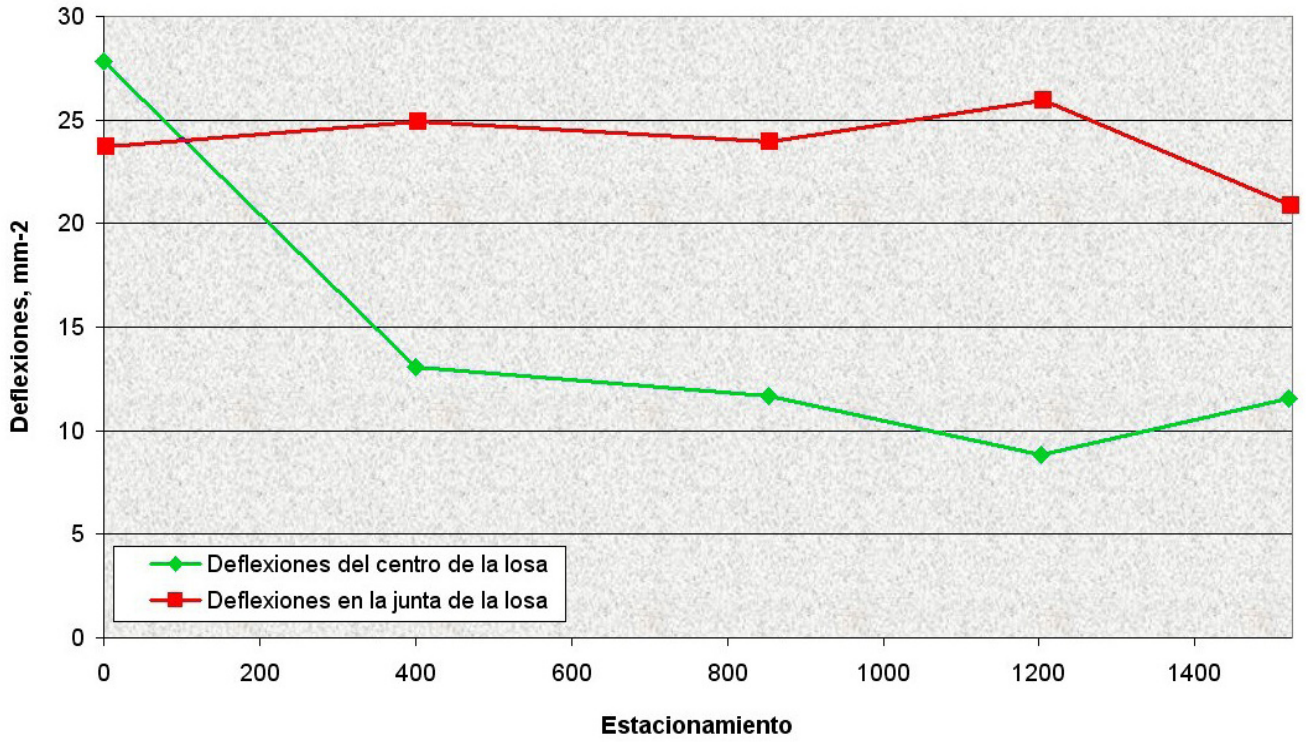


Figura 20. Deflexiones obtenidas, ruta 18, sentido Limonal - Puente sobre el río Tempisque

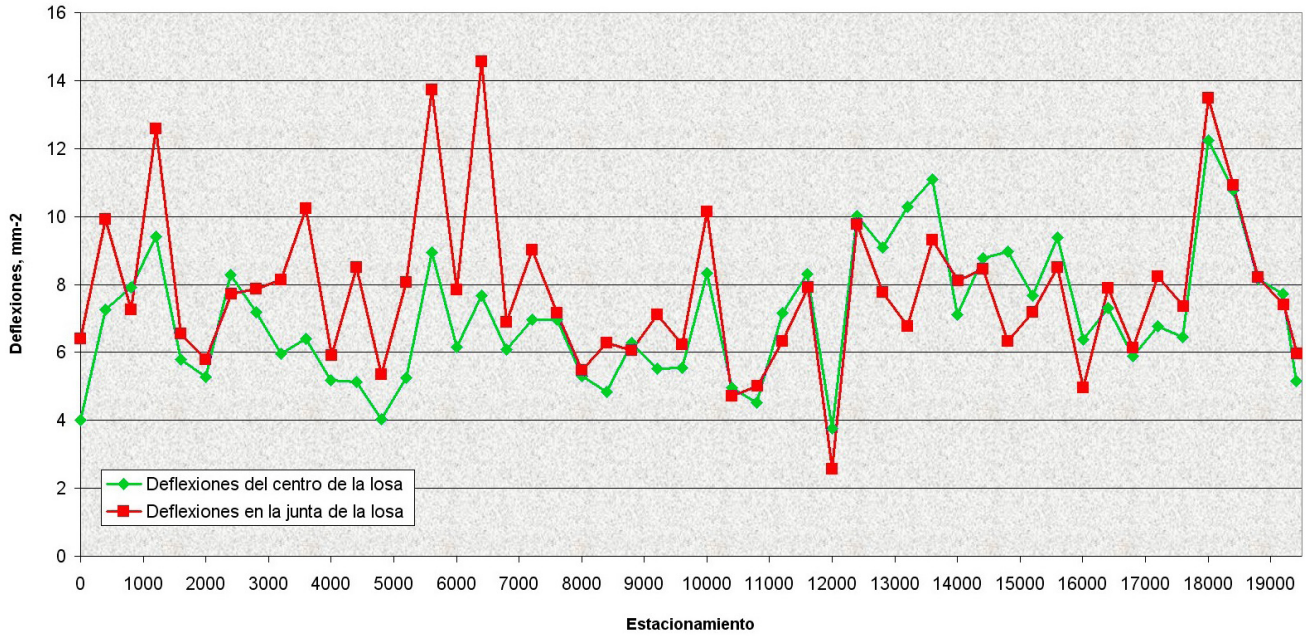


Figura 21. Deflexiones obtenidas, ruta 27, sentido San José - Santa Ana

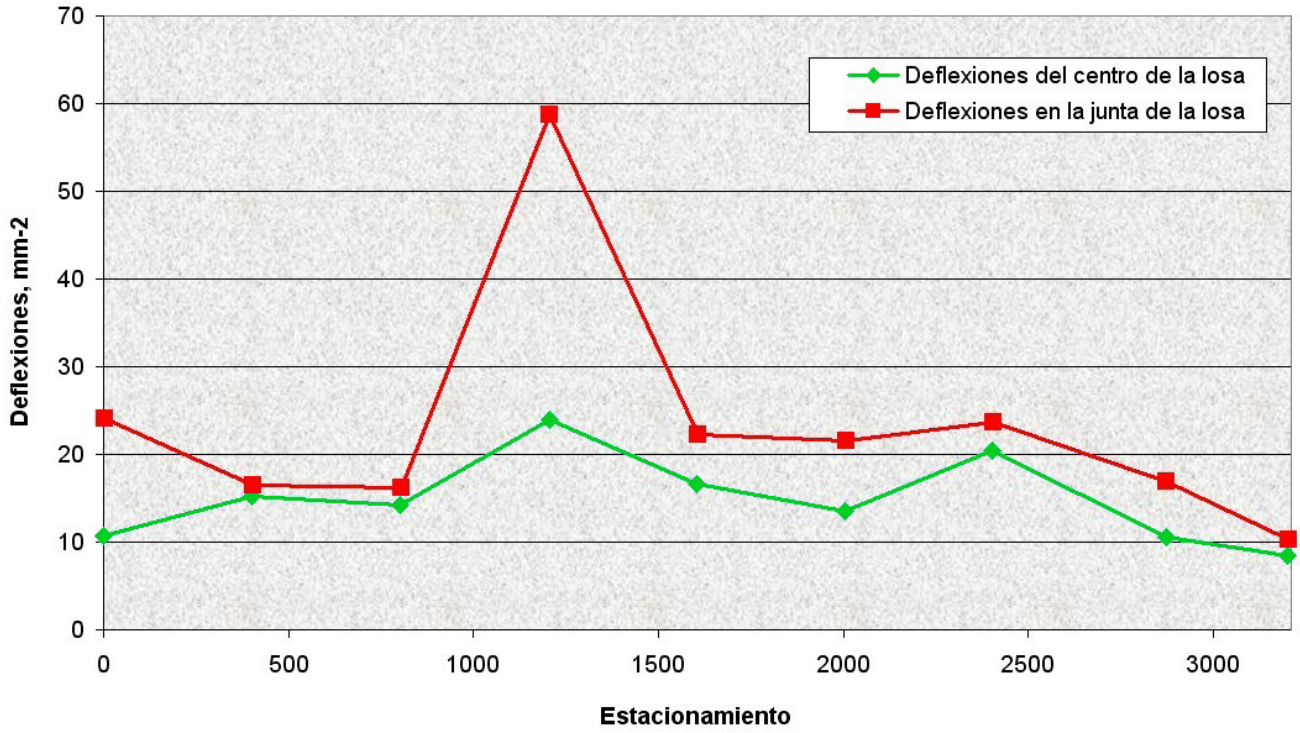


Figura 22. Deflexiones obtenidas, ruta 27, sentido Santa Ana - San José

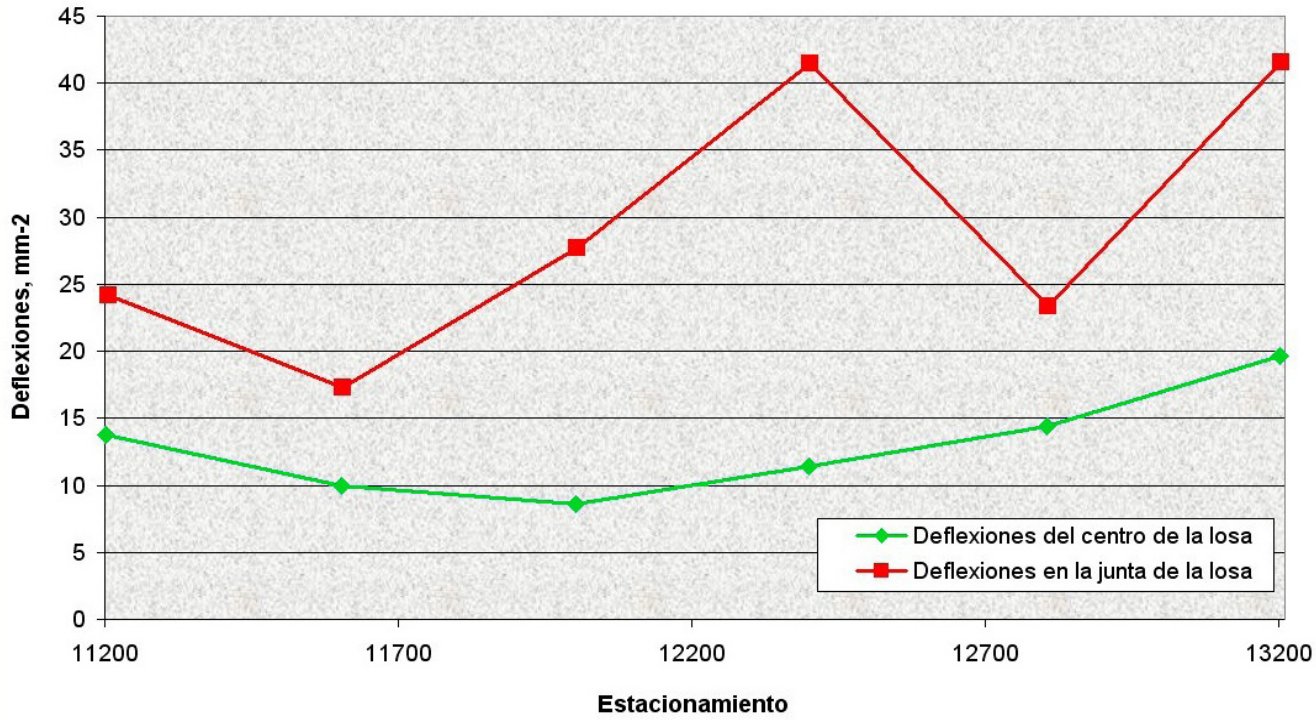


Figura 23. Deflexiones obtenidas, ruta 32, sentido San José - Tibás

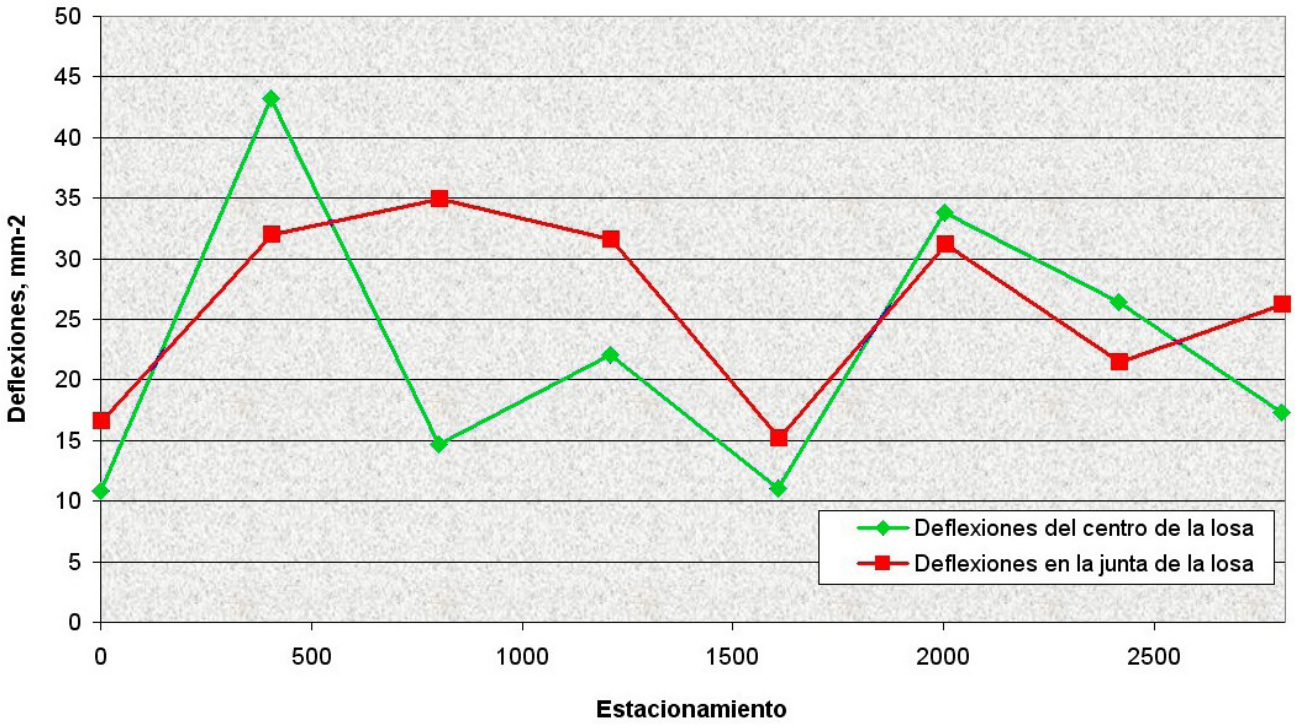


Figura 24. Deflexiones obtenidas, ruta 32, sentido Tibás - San José

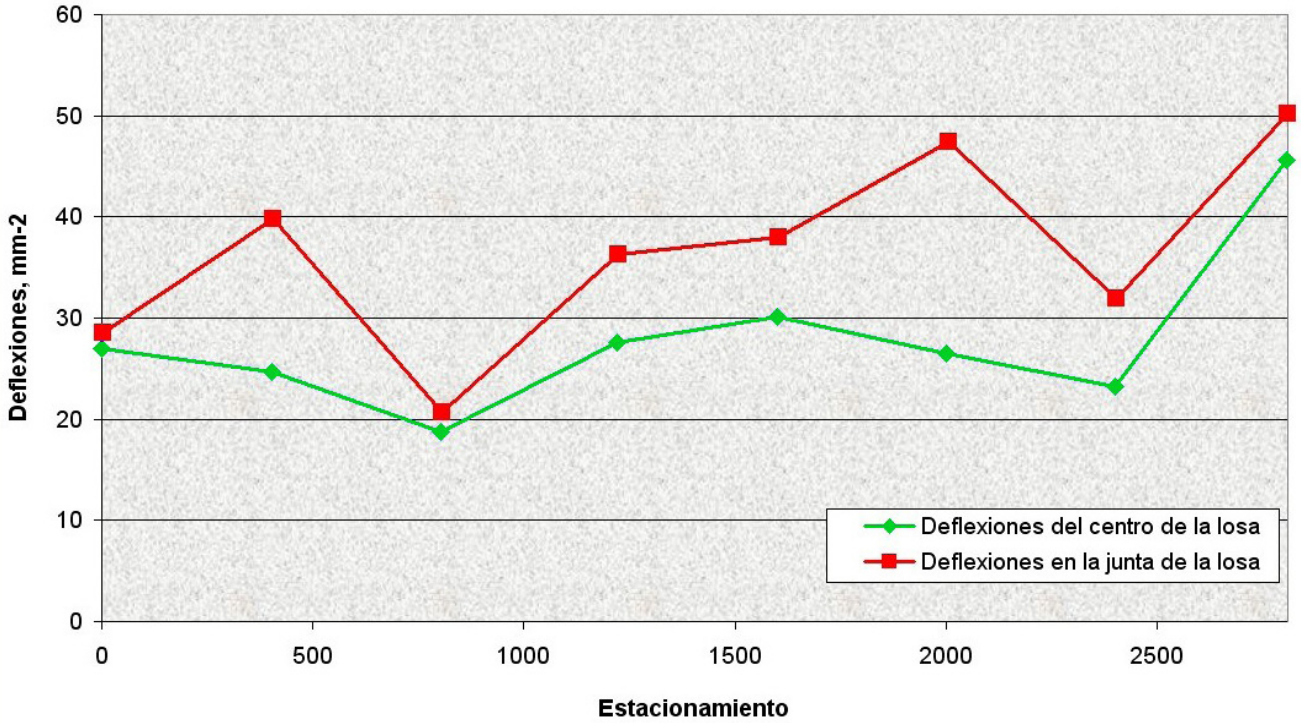


Figura 25. Deflexiones obtenidas, ruta 153, sentido Aeropuerto Juan Santamaría - Alajuela

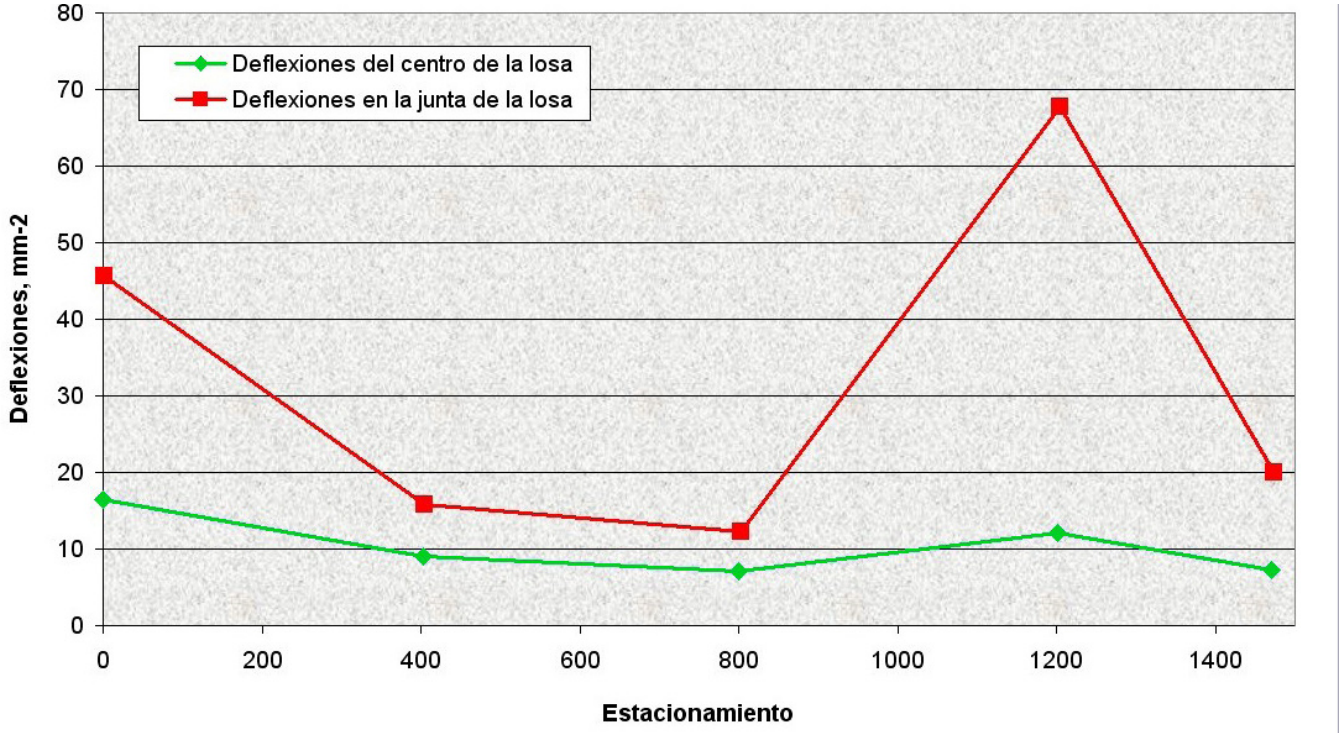


Figura 26. Deflexiones obtenidas, ruta 153, sentido Alajuela - Aeropuerto Juan Santamaría

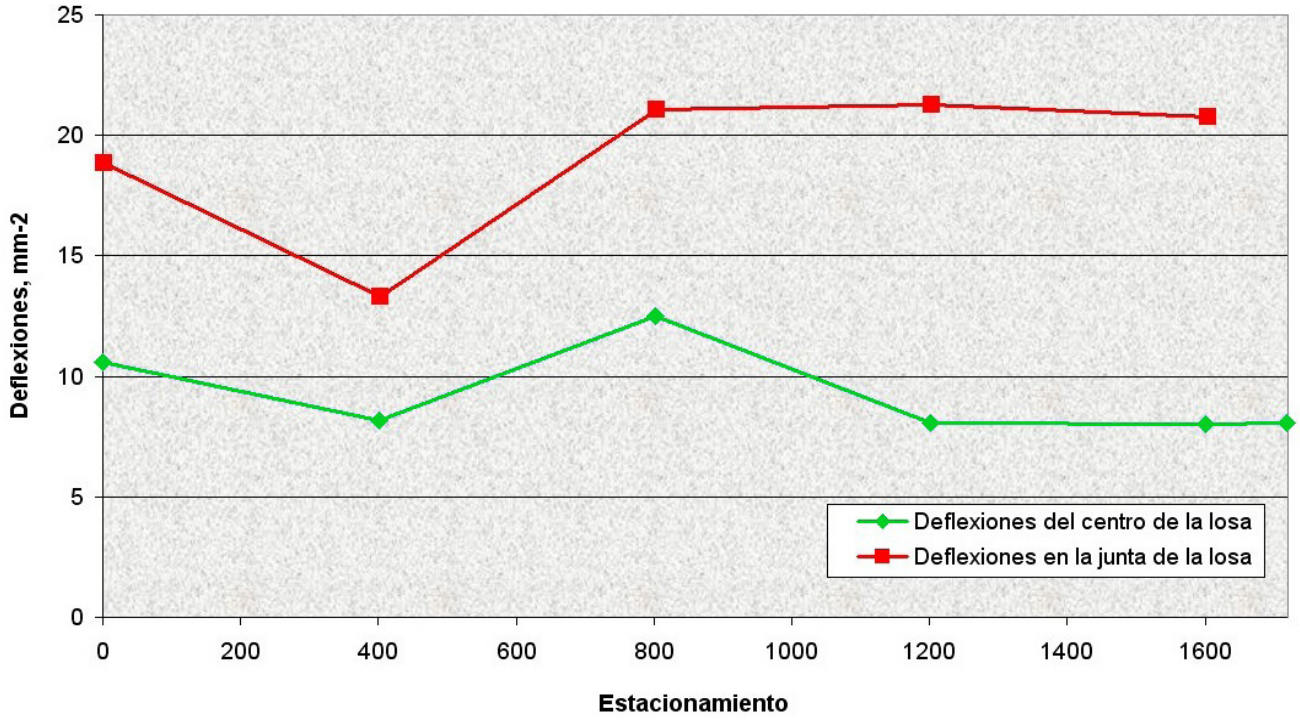


Figura 27. Deflexiones obtenidas, ruta 111, sentido San Francisco de Heredia - Aeropuerto Juan Santamaría

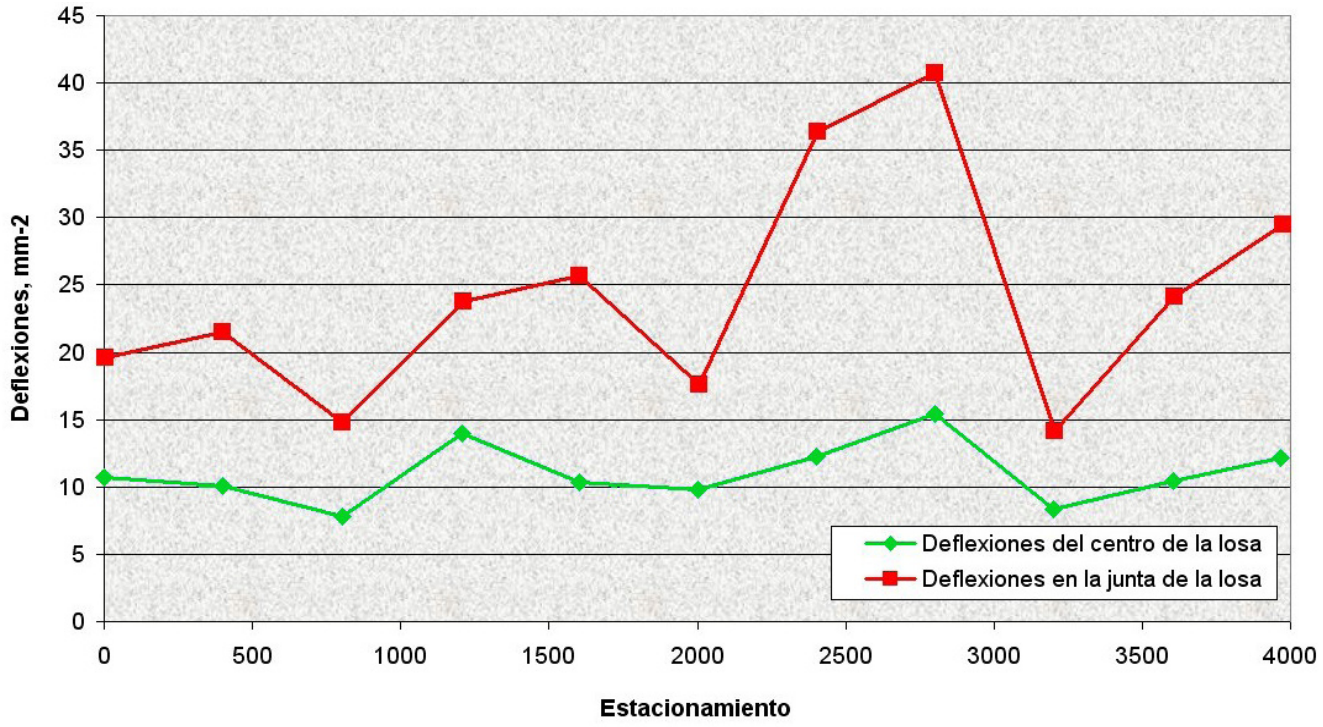
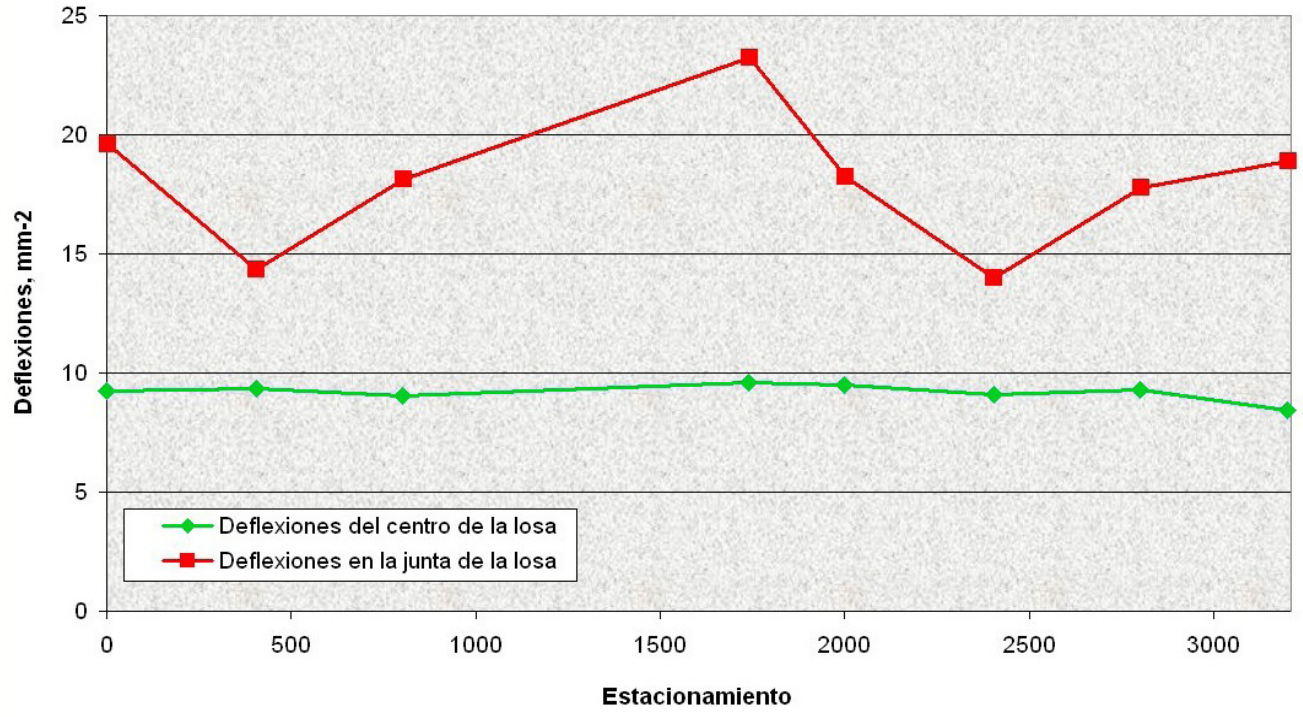


Figura 28. Deflexiones obtenidas, ruta 218, sentido Guadalupe - El Alto



5. COMPARACION DE LOS RESULTADOS A PARTIR DE LAS EVALUACIONES EFECTUADAS EN LA RED VIAL NACIONAL PAVIMENTADA, CAMPAÑAS 2004 Y 20006

A partir de las evaluaciones realizadas (2004 y 2006) es posible iniciar un seguimiento sistemático del estado de la red vial, a partir de parámetros técnicos objetivos. De esta forma, puede ser evaluado el grado de eficiencia de la gestión realizada tanto desde el punto de vista del proceso de recuperación o deterioro que va experimentando cada carretera de la red vial, así como la eficacia del programa de inversión que cada año se ejecuta. Adicionalmente, es posible establecer tendencias típicas de deterioro de las vías, todo esto con el fin de mejorar el nivel de servicio que dicha infraestructura debe brindar a los usuarios, además de monitorizar la calidad de la infraestructura en su función de insumo básico para el desarrollo económico y social del país.

Esta comparación se hace sobre la base de las carreteras que fueron evaluadas en ambas campañas, 2004 y 2006. Para darle validez a dicha comparación, el calendario de mediciones de la campaña actual, tanto para la evaluación con deflectómetro de impacto como la del perfilómetro láser, se hizo coincidir en la medida de lo posible con el calendario seguido en la campaña 2004, con el objeto de que la variable climática sea similar a ambas evaluaciones.

5.1 Comparación del estado de la red vial 2004 y 2006. según la deflexión de los pavimentos

La Figura 29 muestra los resultados obtenidos para ambas campañas con la deflectometría, mostrando los valores obtenidos en cada campaña, para la red vial común a ambas evaluaciones. Las Tablas 6 y 7 muestran, respectivamente, los datos totales de longitud y porcentaje para cada rango de deflexión, en cada provincia, para ambas campañas. Por último, las Figuras 30 y 31 representan de una forma gráfica estas tablas, para cada año de evaluación.

Figura 29. Comparación de la distribución de rangos de deflectometría obtenidos en campañas sucesivas de evaluación de la red vial nacional

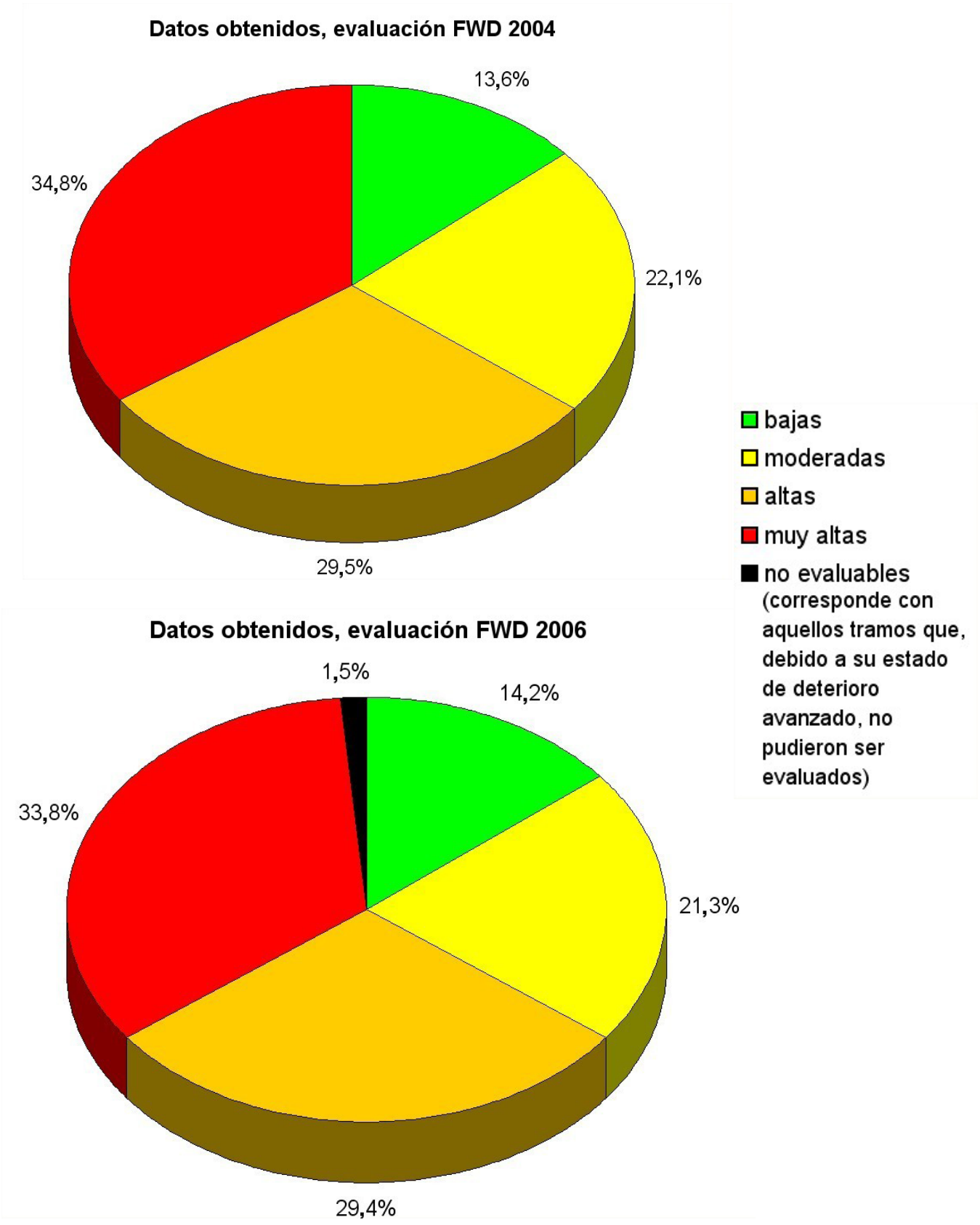


Tabla 6. Longitud de carreteras en cada rango de deflexión por provincia. Evaluación con deflectómetro de impacto (FWD), campañas 2004 y 2006

Provincia	longitud evaluada (km)	km en cada rango de deflexión para cada provincia								
		baja		*moderada*		*alta*		*muy alta*		N/E*
		2004	2006	2004	2006	2004	2006	2004	2006	2006
San José	574,8	78,8	106,9	171,6	156,7	170,0	167,2	154,4	140,0	4,0
Cartago	212,4	13,6	25,4	40,8	43,3	81,6	71,9	76,4	71,9	0,0
Alajuela	1.013,2	59,2	58,9	178,0	163,5	337,2	346,2	438,8	442,5	2,2
Heredia	191,6	12,4	15,0	16,0	23,1	67,6	66,6	95,6	87,0	0,0
Guanacaste	719,6	70,4	86,0	81,2	77,1	160,8	165,2	407,2	391,3	0,0
Puntarenas	741,6	260,4	205,2	236,4	221,4	152,4	157,2	92,4	109,2	48,6
Limón	323,6	20,0	37,4	109,2	117,6	144,0	135,5	50,4	33,0	0,0
Totales	**3.776,8**	**514,8**	**534,9**	**833,2**	**802,6**	**1.113,6**	**1.109,8**	**1.315,2**	**1274,7**	**54,8**

* representan aquellos rutas o tramos de ruta evaluados en la campaña del 2004, que por su avanzado estado de deterioro, no pudieron ser evaluadas en la campaña actual.

Tabla 7. Longitud de carreteras en cada rango de deflexión por provincia. Evaluación con deflectómetro de impacto (FWD), campañas 2004 y 2006

Provincia	longitud evaluada (km)	% de la longitud en cada rango de deflexión para cada provincia								
		baja		*moderada*		*alta*		*muy alta*		N/E*
		2004	2006	2004	2006	2004	2006	2004	2006	2006
San José	574,8	13,7	18.6	29,9	27.3	29,6	29.1	26,9	24.4	0.7
Cartago	212,4	6,4	12,0	19,2	20,4	38,4	33,9	36,0	33,9	0,0
Alajuela	1.013,2	5,8	5.8	17,6	16.1	33,3	34.2	43,3	43.7	0.2
Heredia	191,6	6,5	7,8	8,4	12,1	35,3	34,8	49,9	45,4	0,0
Guanacaste	719,6	9,8	12,0	11,3	10,7	22,3	23,0	56,6	54,4	0,0
Puntarenas	741,6	35,1	27.7	31,9	29.9	20,6	21.2	12,5	14.7	6.6
Limón	323,6	6,2	11,6	33,7	36,3	44,5	41,9	15,6	10,2	0,0
Totales	**3.776,8**	13,6	14,4	22,1	21,6	29,5	29,8	34,8	34,2	1,5

* representan aquellos rutas o tramos de ruta evaluados en la campaña del 2004, que por su avanzado estado de deterioro, no pudieron ser evaluadas en la campaña actual.

Figura 30. Longitud de carreteras en cada rango de deflexión por provincia. Evaluación con deflectómetro de impacto (FWD), campaña 2004

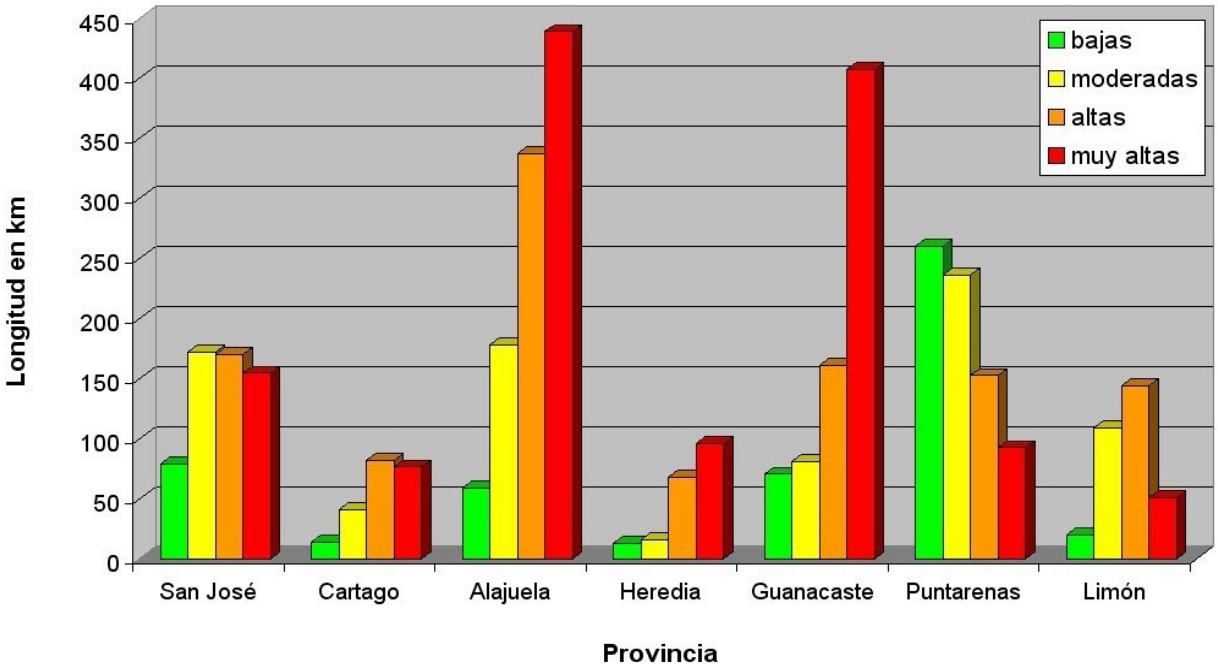
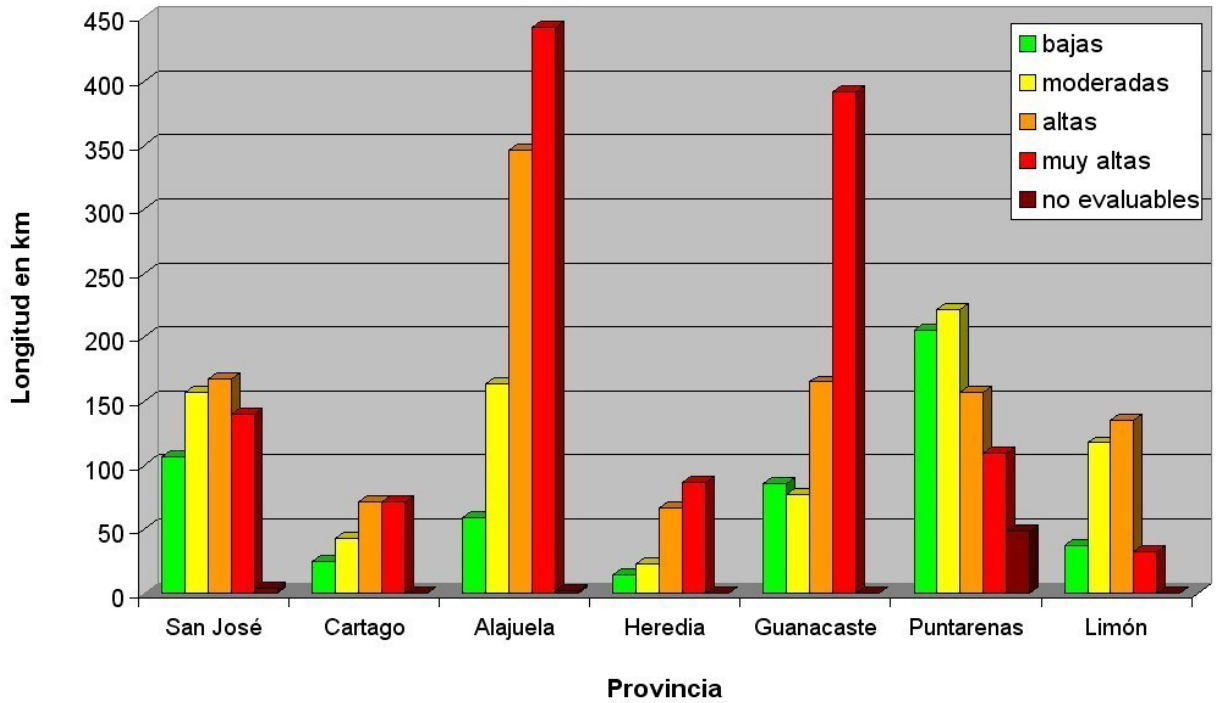


Figura 31. Longitud de carreteras en cada rango de deflexión por provincia[6]. Evaluación con deflectómetro de impacto (FWD), campaña 2006



6 El rango de deflexiones *muy altas* incluye además las longitudes de los tramos que no se pudieron evaluar debido a su avanzado estado de deterioro.

Como se deriva de las figuras y tablas anteriores, el estado de la red vial, desde el punto de vista de las deflexiones, no ha experimentado ninguna mejoría. Esta situación pone en evidencia el esquema de gestión realizado así como del programa de inversión ejecutado, ante el desafío urgente que enfrenta el país de recuperar su infraestructura vial. Tomando en cuenta la longitud de los tramos que por su deterioro avanzado no pudieron ser evaluados (es decir, tramos perdidos desde el punto de vista de la estructura del pavimento), el porcentaje de rutas con deflexiones altas aumentó en estos 2 años, pasando de un 34,8% en el 2004 a un 35,7% en el 2006. La provincia de Puntarenas es la que experimentó el mayor incremento del rango de deflexiones altas, dado que la ruta 245 entre los poblados de Chacarita (intersección con ruta 2 Carretera Interamericana Sur) y Puerto Jiménez en la Península de Osa, con 44,4 km, experimentó un deterioro acelerado tal, que no pudo ser evaluada en el 2006.

5.2 Comparación del estado de la red vial 2004 y 2006, según la condición de regularidad superficial (IRI)

La Figura 32 muestra los resultados obtenidos para ambas campañas a partir de la evaluación con el perfilómetro láser. Las Tablas 8 y 9 muestran, respectivamente, los datos totales de longitud y porcentaje de vías según su estado de deterioro superficial (rangos de IRI) por provincias para ambas campañas de evaluación; mientras que las Figuras 33 y 34 representan en forma gráfica los valores de estas tablas.

Figura 32. Comparación de la distribución de rangos de regularidad superficial, obtenidos en campañas sucesivas de evaluación de la Red Vial Nacional

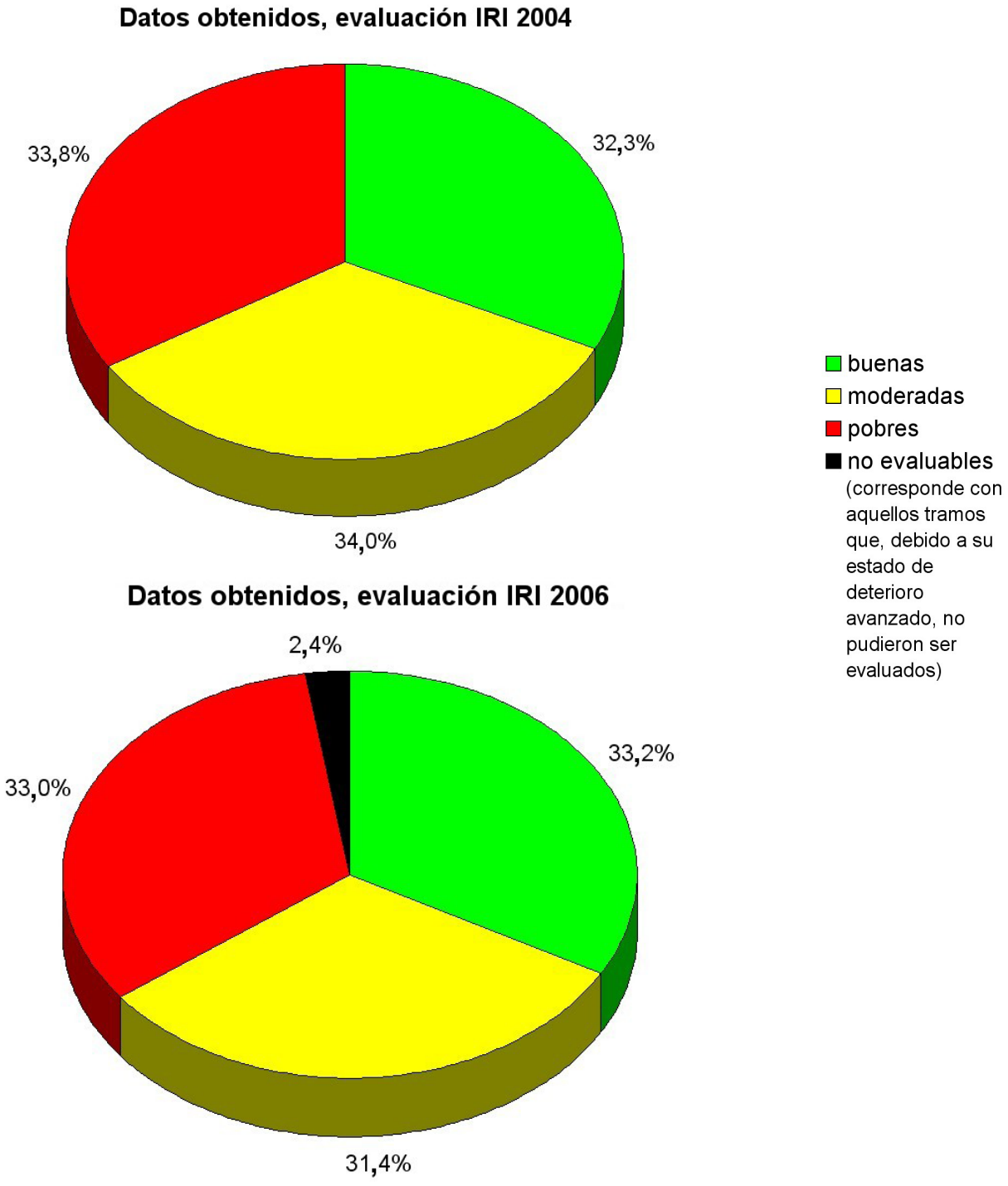


Tabla 8. Longitudes de carreteras en cada rango de regularidad superficial por provincia. Evaluación con perfilómetro láser (IRI), campañas 2004 y 2006

Provincia	longitud	km en cada rango de regularidad para cada provincia						
		buena		moderada		pobre		N/E*
		2004	2006	2004	2006	2004	2006	2006
San José	634,9	120,0	154,5	206,8	213,5	308,1	264,4	2,5
Cartago	357,2	57,4	65,8	127,8	133,4	172,0	158,0	0,0
Alajuela	1.062,1	317,8	344,0	351,2	348,0	393,1	366,0	4,1
Heredia	222,4	76,3	80,9	63,8	58,5	82,3	83,0	0,0
Guanacaste	731,2	228,9	219,4	296,3	254,0	206,0	213,9	43,9
Puntarenas	681,2	331,5	324,0	213,1	184,4	136,6	123,8	49,0
Limón	337,2	167,4	180,4	108,2	105,2	61,6	51,6	0,0
Totales	**4.026,2**	**1.299,3**	**1.369,1**	**1.367,2**	**1.297,0**	**1.359,7**	**1.260,7**	**99,4**

* representan aquellos rutas o tramos de ruta evaluados en la campaña del 2004, que por su avanzado estado de deterioro, no pudieron ser evaluadas en la campaña actual.

Tabla 8. Longitudes de carreteras en cada rango de regularidad superficial por provincia. Evaluación con perfilómetro láser (IRI), campañas 2004 y 2006

Provincia	longitud	km en cada rango de regularidad para cada provincia						
		buena		moderada		pobre		N/E*
		2004	2006	2004	2006	2004	2006	2006
San José	634,9	*18,9*	*24,3*	*32,6*	*33,6*	*48,5*	*41,6*	*0,4*
Cartago	357,2	*16,1*	*18,4*	*35,8*	*37,3*	*48,2*	*44,2*	*0,0*
Alajuela	1.062,1	*29,9*	*32,4*	*33,1*	*32,8*	*37,0*	*34,5*	*0,4*
Heredia	222,4	*34,3*	*36,4*	*28,7*	*26,3*	*37,0*	*37,3*	*0,0*
Guanacaste	731,2	*31,3*	*30,0*	*40,5*	*34,7*	*28,2*	*29,2*	*6,1*
Puntarenas	681,2	*48,7*	*47,6*	*31,3*	*27,1*	*20,1*	*18,2*	*7,2*
Limón	337,2	*49,6*	*53,5*	*32,1*	*31,2*	*18,3*	*15,3*	*0,0*
Totales	**4.026,2**	***32,2***	***34,0***	***34,0***	***32,2***	***33,8***	***31,3***	***2,5***

* representan aquellos rutas o tramos de ruta evaluados en la campaña del 2004, que por su avanzado estado de deterioro, no pudieron ser evaluadas en la campaña actual.

Figura 33. Longitud de carreteras en cada rango de regularidad superficial por provincia

Evaluación con perfilómetro láser, campaña 2004

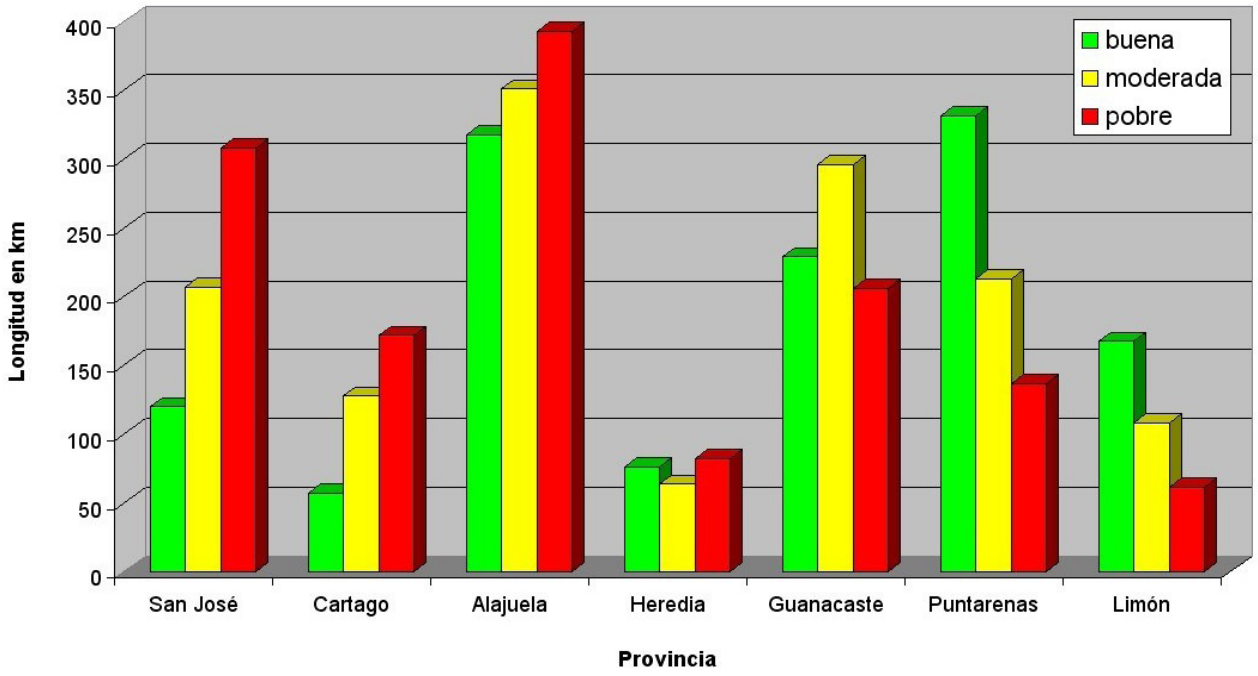
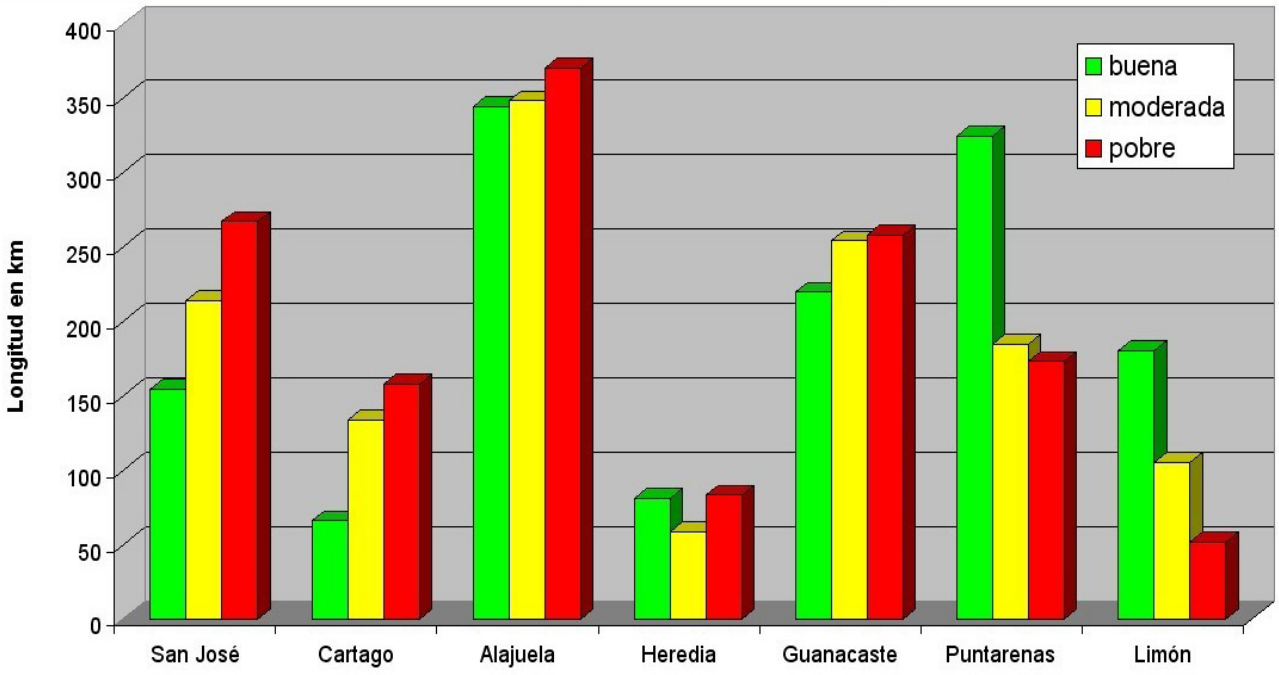


Figura 34. Longitud de carreteras en cada rango de regularidad superficial por provincia[7].

Evaluación con perfilómetro láser, campaña 2006



7 El rango de regularidad superficial *pobre* incluye además las longitudes de los tramos que no se pudieron evaluar, debido a su avanzado estado de deterioro.

El porcentaje de rutas de la red vial que presentan buenas condiciones de regularidad superficial se incrementó ligeramente en el 2006; asimismo, hubo una leve disminución de las rutas con regularidades superficiales moderadas. Sin embargo, la longitud de rutas con regularidad pobre aumentó entre ambas evaluaciones, tomando en cuenta que 2,4% de la red vial no pudo ser evaluada debido a su avanzado estado de deterioro.

Las variaciones que se observan en las provincias de Guanacaste y Puntarenas corresponden a rutas que alcanzaron un alto grado de deterioro. En la provincia de Puntarenas, 41,9 km corresponden con la anteriormente mencionada ruta 245 a Puerto Jiménez, en la península de Osa; mientras que en Guanacaste los tramos no evaluables en el 2006 por su avanzado estado de deterioro, son aquellos que comunican la ruta 155 con las playas Brasilito, Matapalo, Salinas y Tamarindo.

Ante el reto que enfrenta el país de recuperar el estado de deterioro en que se encuentra la red vial, y de acuerdo con los resultados de esta evaluación, la gestión realizada y el programa de inversión ejecutado durante el período 2004 – 2006 no muestran logros positivos. Por el contrario, se determinó un ligero incremento en el deterioro de las carreteras, en forma de pérdida de capacidad estructural o resistencia, así como de vida útil remanente para muchos tramos de la red vial, además de que algunas carreteras alcanzaron un severo grado de deterioro, al punto que no pudieron ser evaluadas.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La evaluación periódica de la red vial es una herramienta importante que permite corroborar la calidad de las obras realizadas y la eficiencia de la inversión que el país realiza en infraestructura vial; por lo tanto, sirve como instrumento objetivo de rendición de cuentas de la gestión de la infraestructura vial nacional, convirtiéndola en una herramienta efectiva de fiscalización.

- Con base en las campañas realizadas, y las que se llevarán a cabo en el futuro, se puede dar un seguimiento al proceso de deterioro o recuperación que experimenta la infraestructura vial. Además, dichas campañas pueden ser utilizadas como insumo para priorizar rutas o áreas para su pronta intervención, con lo cual dicha evaluación se convierte también en una eficiente herramienta para el tomador de decisiones, tanto en el plano técnico, como en el económico e incluso en el político.

- De los resultados obtenidos en la presente campaña de evaluación de la red vial, aproximadamente 65% de su longitud total presenta altas deflexiones, lo cual se asocia con una baja capacidad estructural. Un porcentaje similar de la red vial presenta también índices de regularidad altos. Todo lo anterior significa pérdida del patrimonio en infraestructura vial, altos costos de inversión en mantenimiento y reconstrucción, así como altos costos de operación de la flota vehicular. Sumado a esto, la falta de gestión adecuada en seguridad y educación vial, y en gestión de riesgos, señalan la necesidad de un cambio de mentalidad por parte de las autoridades, con el objetivo de recuperar el estado de la red vial en el corto y mediano plazo.

- Al comparar los resultados obtenidos en las campañas de evaluación 2004 y 2006, se observa que la gestión realizada en este período no logró avances en la dirección de atender el urgente problema nacional de recuperar el estado de deterioro de la red vial, sino por el contrario se determinaron avances en el deterioro de algunas de sus carreteras, con la consecuente pérdida del valor del patrimonio vial. La estrategia de inversión aplicada en la red vial nacional en el período comprendido entre los años 2004 y 2006 no ha logrado impactos favorables en los aspectos de desarrollo social o regional de los sectores productivos del país. A título de ejemplo, zonas de alto potencial turístico como Guanacaste y la zona norte presentan aún rutas con un alto nivel de deterioro a pesar de la inversión realizada en estos 2 años.

6.2 Recomendaciones

- Es urgente implementar un sistema de gestión con el debido soporte técnico y programa de inversión de manera eficiente, que garantice la recuperación, desarrollo y sostenibilidad del patrimonio vial, objetivo que requiere el país para su desarrollo económico y social.

- Se deben definir las políticas de gestión con una visión a largo plazo, y que tome la infraestructura vial de manera integral; no enfocándose únicamente en los pavimentos, sino abarcando todos los elementos, tales como alcantarillas, puentes, terraplenes, taludes, etc.

- Así como se realiza una evaluación de la red vial nacional cada 2 años, también es importante que el país brinde apoyo a las Municipalidades para que realicen una evaluación periódica del estado de la red cantonal. Así, los recursos destinados a estas redes se podrán invertir de forma más eficiente, derivando beneficios directos a quienes transitan por ellas y en general a sus zonas de influencia.