

## Desarrollo de herramientas de gestión, con base en la determinación de índices

Fecha de recepción: 08 de diciembre del 2008

Fecha de aprobación: 09 de febrero del 2009

### Resumen

Con el fin de responder a la necesidad expresa de establecer herramientas que sirvieran de apoyo a la eventual creación de un sistema de administración de infraestructura en Costa Rica, la Unidad de Investigación del LanammeUCR, desarrolló una metodología que permite definir estrategias de intervención a nivel de red, basándose en una modificación del método VIZIR, desarrollado por el Laboratorio Central de Puentes y Calzadas de Francia (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) (LCPC) de Francia en 1972 y usado desde 1995 por el departamento de Planificación Sectorial del MOPT (Costa Rica) y en la definición de tramos homogéneos a partir del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Con esta metodología fue posible calcular para cada tramo homogéneo de IRI otros índices importantes, tales como, el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), el Índice de Condición del Pavimento (PCI), notas de calidad Q (VIZIR) y valores de deflexiones características para cada tramo, dependiendo del tránsito promedio diario (TPD) de cada uno. Una vez conformada una gran base de datos con la caracterización funcional, estructural y de condición superficial, se establecieron estrategias de intervención en cada tramo homogéneo y se procesó toda esta información en sistemas de información geográfica, para su fácil manejo y actualización.

**Palabras clave:** IRI, índices, vizir, estrategias.

### Abstract

*In order to answer to the express need to establish tools that were capable of offering support for the eventual creation of an Asset Management System in Costa Rica, the Research Unit of the LanammeUCR developed a methodology that allows to define strategies of intervention in the network level for the main road network in Costa Rica. This methodology is based on a modification of the VIZIR method, developed by the Central Laboratory of Bridges and Roads (France, 1972) and used by the Sectorial Planning Department of Costa Rica since 1995 and based also on the definition of homogeneous sections by the International Roughness Index (IRI). With this methodology it was possible to calculate for each IRI's homogeneous section other important indexes, such as the Present Serviciability Index (PSI), the Pavement Condition Index (PCI), the quality notes Q (from VIZIR) and typical values of deflections for every section, depending on the average daily traffic (TPD) on each one. With this complete database of information it was possible to establish, in each homogeneous section, a specific strategy of intervention such as maintenance, structural reinforcement or reconstruction, all this information was taken to maps in a geographical information system for easy managing and updating.*

**Key words:** IRI, indexes, vizir, strategies.

Ing. Roy Barrantes Jiménez

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
rbarrantes@lanamme.ucr.ac.cr

Investigadores Asociados:

Ing. Guillermo Loría

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
loria@unr.nevada.edu

Ing. Denia Sibaja Obando

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

dsibaja@gmail.com

Juan Diego Porras Alvarado

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
dporras@lanamme.ucr.ac.cr

### 1. Introducción

Las técnicas de evaluación de pavimentos son empleadas en todo el mundo, para recopilar y analizar información sobre el estado de las carreteras; son utilizadas como una herramienta técnica, objetiva, sistemática y reproducible, para evaluar la eficiencia y eficacia de las obras a lo largo de toda su vida útil.

Las evaluaciones modernas de pavimentos involucran análisis que incluyen diagnósticos, tanto de la capacidad estructural de las vías, como de su capacidad funcional en términos de confort y costo de operación de los vehículos, así como, elementos de diseño geométrico, seguridad vial y de su condición superficial, lo cual permite tener un enfoque integral de los diversos problemas asociados a la infraestructura vial.

Todos estos elementos en combinación, deben servir de guía para que la Administración pueda determinar las políticas y estrategias de intervención, tanto a nivel de Red Vial Nacional, como a nivel de proyectos específicos y lograr así que estas estrategias resulten en inversiones eficientes y eficaces de los limitados fondos públicos.

En los pavimentos, los datos obtenidos de las evaluaciones visuales, se usan como un parámetro importante para cuantificar la calidad del servicio que se otorga a los usuarios. Esto es importante, tanto a nivel de red como a nivel de proyecto, aunque el grado de detalle requerido en cada caso es considerablemente distinto.

A nivel de red, la preocupación principal está en cómo determinar los tratamientos que se requieren, por ejemplo: si la red califica por su deterioro como sujeto de mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, rehabilitación o reconstrucción. De ahí que, este tipo de evaluación, requiere de la formulación de índices compuestos, como es el caso del método VIZIR, que

se determina con una muestra relativamente limitada de cada sección del pavimento, en algunos casos haciendo la medición desde un vehículo, que abarque toda la sección de forma muy general.

A nivel de proyecto, se requiere una estimación de la magnitud específica y métodos de reparación del pavimento, como por ejemplo un sellado de grietas sobre una sección determinada, con un mayor nivel de detalle; sin embargo, debe existir una correlación directa y consistente entre los diagnósticos realizados a nivel de red y a nivel de proyecto.

Actualmente, en nuestro país las evaluaciones visuales ejecutadas por el Departamento de Planificación Sectorial del MOPT, se realizan por medio de la metodología VIZIR, con el fin de calificar la condición superficial de la red vial nacional pavimentada y determinar políticas de intervención a nivel de red. Esta metodología de evaluación visual utilizada a nivel de red, puede ser complementada con metodologías que contribuyan a brindar un mayor detalle y precisión, tales como, la variante descrita en el estudio denominado "Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices" (UI-PI-04-08) desarrollado por la Unidad de Investigación del LanammeUCR durante el año 2008, así como, metodologías como la SHRP de evaluación visual o la metodología de evaluación indicada por la norma ASTM D6433, las cuales pueden ser utilizadas a nivel de proyecto, como indicadores más precisos de qué tipo de intervención debe realizarse para solucionar una patología específica.

La mayoría de las decisiones de intervención en los proyectos de conservación vial en nuestro medio, se fundamentan principalmente en el criterio técnico de los ingenieros profesionales a cargo de las distintas zonas en las que se dividió la red vial nacional; de ahí la importancia de brindar herramientas de gestión que unifiquen estos criterios, y que permitan que las decisiones de conservación vial a nivel de red y de proyecto, tengan el mismo grado de sustento técnico en todas las zonas del país, y que igualmente sean acordes y comparables con las políticas de intervención y los diagnósticos realizados por la Dirección de Planificación Sectorial.

De esta forma, se podrían sentar las bases para la formulación de un sistema de administración de pavimentos y mantener un registro histórico de los deterioros y de las obras realizadas, por medio de índices que sean comparables en el tiempo y con otras rutas de nuestra red vial.

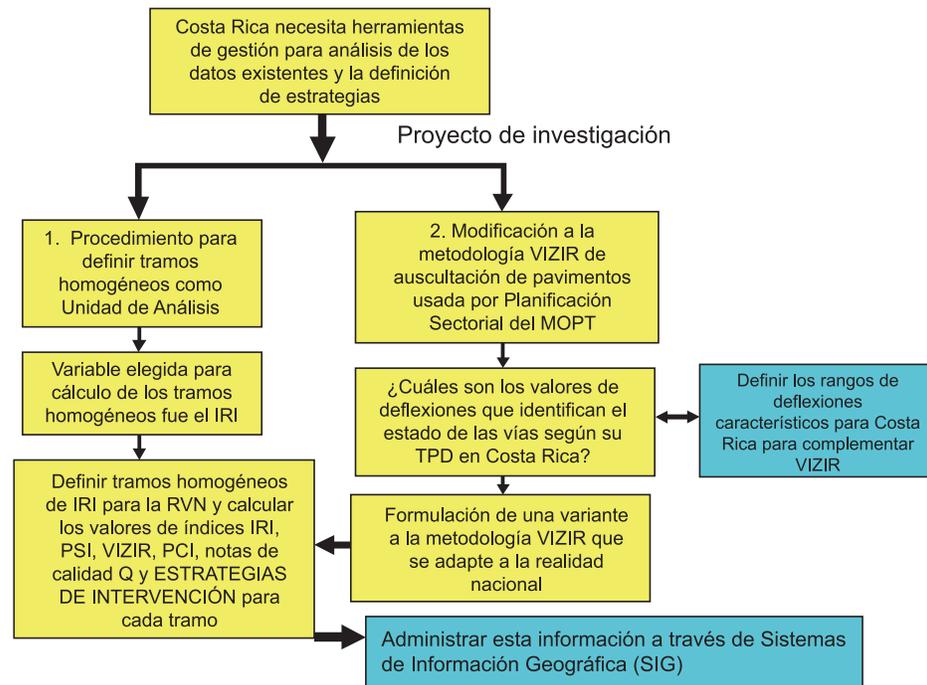
## 2. Objetivo general

Brindar herramientas de gestión, aplicables a nivel de red y de proyecto, que permitan calcular distintos índices para la Red Vial Nacional (RVN). Estos índices permitirán calificar las rutas nacionales de acuerdo con su capacidad funcional (IRI), su nivel de serviciabilidad actual (PSI), su condición superficial (VIZIR / PCI), volumen vehicular y capacidad estructural. Esto permitirá formular estrategias de intervención objetivas y técnicamente sustentadas.

## 3. Objetivos específicos

1. Proponer un procedimiento para la determinación de tramos homogéneos, con base en la metodología descrita en AASHTO 1993.
2. Dividir la red vial nacional en tramos homogéneos a partir de los datos de IRI del año 2008, agrupándolos de acuerdo con su ubicación dentro de las distintas zonas de conservación vial y secciones de control.
3. Asignar valores del índice de serviciabilidad presente (PSI) a cada tramo homogéneo, de acuerdo con los modelos definidos en el reporte No.99-1508, del Transportation Research Record 1655.
4. Proponer una modificación al método VIZIR, que incorpore el cálculo en cada tramo homogéneo de las notas de calidad Q, basado en la determinación de rangos de deflexiones características, dividido en función del nivel de tránsito vehicular (TPD) de cada tramo y considerando una estructura del pavimento representativa de la mayoría de las rutas de la red vial nacional.
5. Definir estrategias de intervención, a partir de la combinación de los valores de las notas de calidad Q y los valores de IRI, calculados para cada tramo homogéneo.
6. Introducir el cálculo del PCI (Pavement Condition Index) como un índice de condición superficial más completo y objetivo, proveniente de la norma ASTM D6433.
7. Determinar una relación cualitativa que permita equiparar de forma aproximada, los rangos definidos por el método del PCI, con aquellos obtenidos de la evaluación realizada con VIZIR por el departamento de Planificación Sectorial del MOPT.

Figura 1 Esquema general del proyecto de investigación



Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

#### 4. Esquema de la metodología aplicada en el estudio

En la Figura 1 se presenta el esquema general utilizado para desarrollar el proyecto de investigación.

#### 5. Definición de estrategias de intervención a nivel de red

La metodología descrita en el capítulo 3 del informe UI-PI-04-08 permitió definir tramos homogéneos con base en los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) para toda la Red Vial Nacional, utilizando las mediciones realizadas durante el año 2008.

La finalidad de esta metodología, es que pueda ser reproducida de forma fácil y que permita establecer unidades de análisis para la toma de decisiones de tipo estratégico. En este caso particular, como se mencionó anteriormente, se utilizó el parámetro IRI, ya que el nivel de confianza sobre la calidad de la información es muy alto, en comparación con otros índices como el VIZIR, o con los datos de TPD suministrados por el Departamento de Planificación Sectorial del MOPT.

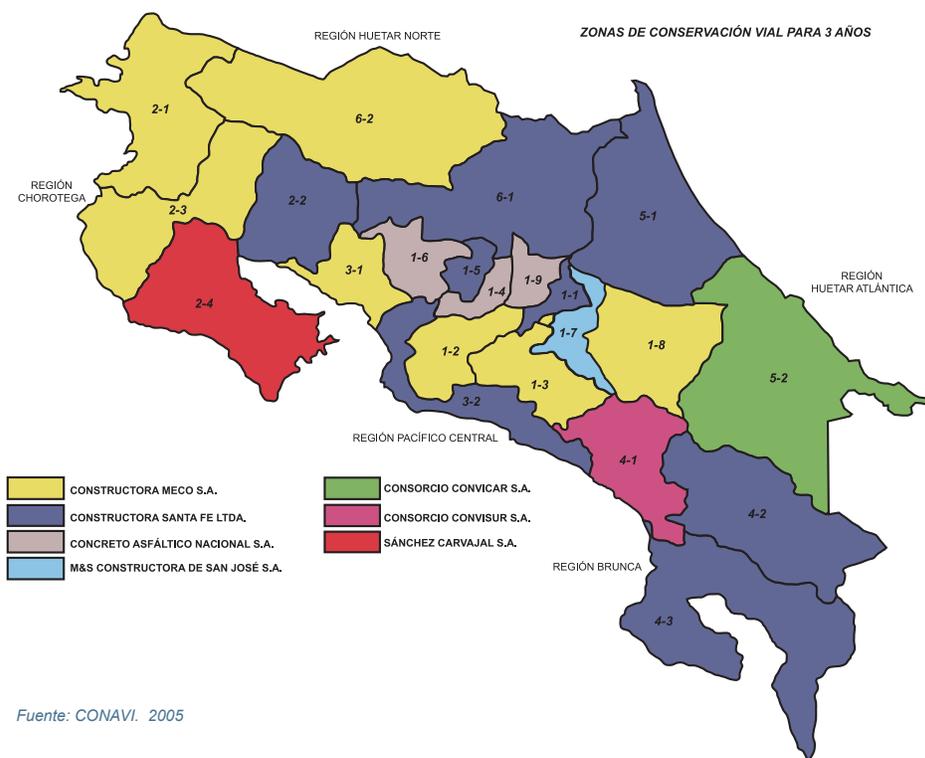
Los tramos homogéneos definidos, se tratan como unidades básicas de análisis, para el posterior cálculo de los distintos índices que caracterizan las rutas nacionales.

Para utilizar la información generada con mayor facilidad, como una fase previa al cálculo de los tramos homogéneos, se empleó la división existente del territorio nacional, proveniente de los contratos activos de Conservación Vial, ya que esta división es ampliamente conocida en el medio nacional.

Esta división consiste en un total de 22 zonas, cada una de ellas asignadas a distintos contratistas (ver Tabla 1 y Figura 2). Algunos de estos contratistas son empresas encargadas de ejecutar las labores y otros se definieron como Unidades de Inspección, que tienen la función principal de inspeccionar y asegurar la calidad de los trabajos realizados.

Adicionalmente, se correlacionaron los tramos homogéneos calculados con las correspondientes secciones de control establecidas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), para facilitar su ubicación geográfica.

Para cada tramo homogéneo, definido con base en los valores de IRI, se calculó el valor del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) y se le agregó una descripción cualitativa de la superficie de ruedo, con base en los modelos desarrollados por la AASHTO.



Fuente: CONAVI. 2005

En el Gráfico 1 se muestra la correlación existente entre los valores de PSI con los valores de IRI, para pavimentos flexibles. En este gráfico también es posible observar las bandas verticales que definen la condición del pavimento en una escala de colores.

La correlación propuesta entre los valores de IRI y PSI debe ser sujeta a calibraciones posteriores, sin embargo, el conocimiento de los valores de PSI aproximados para los tramos homogéneos, resulta de suma importancia, ya que son muy buenos indicadores del nivel de servicio que las rutas están brindando a los usuarios. Estos valores del índice de serviciabilidad presente, deben ser considerados al momento del diseño estructural de sobrecapas o rehabilitaciones de tipo refuerzo estructural, como las que se van a definir más adelante en este artículo.

Cabe aclarar en este punto que, como parte del proceso de calibración en el cálculo de estos índices, es necesario definir los modelos de deterioro para las rutas nacionales, de forma tal que se puedan establecer los valores de serviciabilidad inicial  $PSI_{inicial}$  y de serviciabilidad final  $PSI_{final}$  para cada proyecto o unidad de análisis en específico, considerando entre otras variables: el tipo y la calidad de los pavimentos,

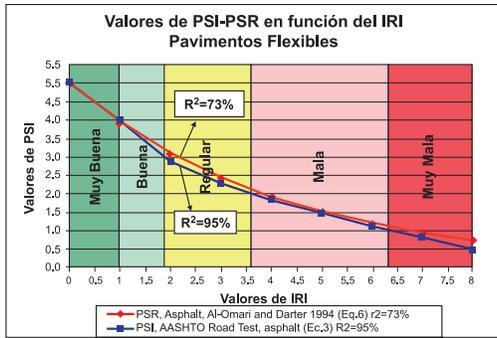
División del territorio nacional en las 22 zonas de Conservación Vial

Tabla 1

| Zona | Región                       | Provincia             |
|------|------------------------------|-----------------------|
| 5-2  | V - Huetar Atlántico         | Limón                 |
| 5-1  |                              |                       |
| 2-4  | II - Chorotega               | Guanacaste            |
| 2-3  |                              |                       |
| 2-2  |                              |                       |
| 2-1  |                              |                       |
| 4-3  | IV - Brunca                  | San José - Puntarenas |
| 4-2  |                              |                       |
| 4-1  |                              |                       |
| 6-2  | VI - Huetar Norte            | Alajuela              |
| 6-1  |                              |                       |
| 3-2  | III - Pacífico Central       | Puntarenas            |
| 3-1  |                              |                       |
| 1-9  |                              |                       |
| 1-8  | Región 1, subregión Cartago  | Cartago               |
| 1-7  |                              |                       |
| 1-6  | Región 1, subregión Alajuela | Alajuela              |
| 1-5  |                              |                       |
| 1-4  |                              |                       |
| 1-3  | Región 1, subregión San José | San José              |
| 1-2  |                              |                       |
| 1-1  |                              |                       |

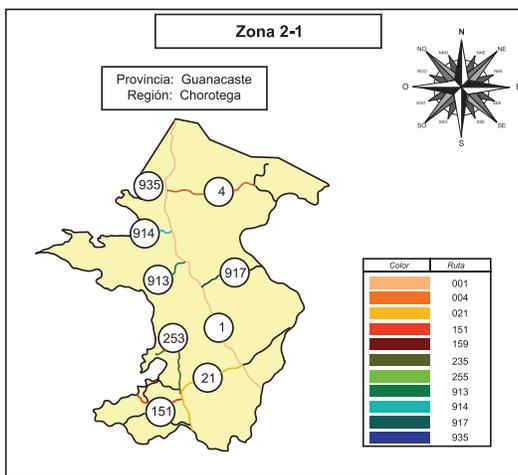
Fuente: CONAVI. 2005

**Gráfico 1** Rangos de IRI para pavimentos flexibles. Modelo de correlación con PSI



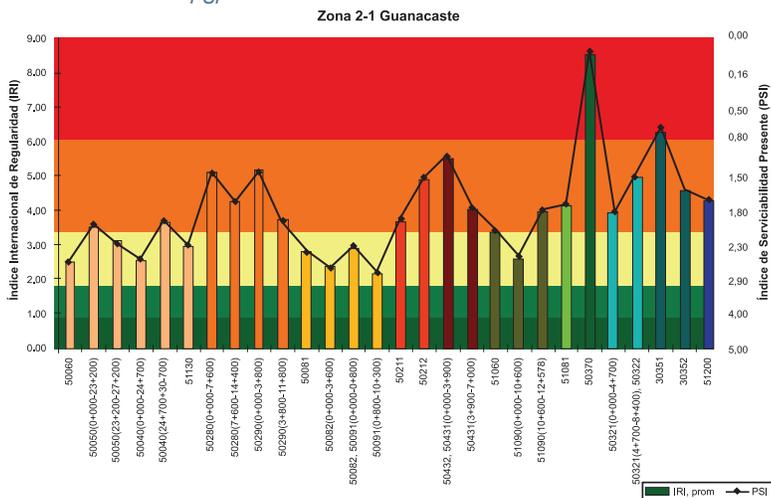
Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

**Figura 3** Determinación de los tramos homogéneos, valores de IRI y PSI para la zona 2-1 de Conservación Vial, Costa Rica 2008



Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

**Gráfico 2** Rangos de IRI para pavimentos flexibles. Modelo de correlación con PSI



Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

condiciones climáticas, tipo de vehículos, materiales utilizados en la construcción, etc.

En los Gráficos 1 y 2 y la Figura 3 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos en el estudio, para una la zona 2-1, donde se aprecian las secciones de control de cada tramo, rutas y el correspondiente valor de PSI asociado al valor del IRI característico para cada tramo.

## 6. Complemento de la metodología VIZIR, por medio de los rangos de deflexiones.

En la metodología descrita en el método VIZIR, se define (capítulo II – “Desarrollo de Soluciones”) un grupo de nueve (9) índices identificados con la letra Q y denominados como “notas de calidad del pavimento”, estos índices se determinan mediante la relación de la condición superficial medida por el Is (índice de daño superficial) calculado por el método VIZIR y los rangos de deflexiones, d1 y d2, que representan una medida indirecta de la capacidad estructural de los pavimentos.

Las notas de calificación que dependen del deterioro superficial y la capacidad estructural de los pavimentos se presentan en la Tabla 2.

De acuerdo con lo definido en el método VIZIR, los valores d1 y d2 presentes en la Tabla 2 corresponden a los límites de deflexión característicos para cada país y corresponden a clases que dependen de muchos factores como el clima, el tipo y espesor de los pavimentos, los suelos, las cargas de los vehículos, etc.

Se desarrolló una propuesta para la definición de los valores d1 y d2, con el objetivo de crear una herramienta de calificación aplicable tanto a nivel de red como de proyecto.

## 7. Definición de las deflexiones características para Costa Rica

Debido a que las rutas que componen la Red Vial Nacional difieren entre sí, tanto por su importancia como por la cantidad de vehículos y estructura, fue necesario agruparlas y definir rangos de deflexiones que se ajusten a las características de cada subgrupo.

Para lograr definir los rangos de la capacidad estructural d1 y d2, que completan la matriz de calificación del

pavimento, reflejados por la deflectometría de impacto, se realizaron análisis de tránsito y diseños estructurales, que permitieron calcular las deflexiones características de cada subgrupo de rutas.

El método utilizado, que permitió determinar estos rangos, fue el "Método de Vida Remanente", AASHTO 1993<sup>1</sup>, el cual correlaciona pérdidas en la vida útil del pavimento con una disminución del número estructural, calculado a través de un "Factor de Condición (CF)"

Los rangos propuestos en este informe, no deben ser considerados para evaluar la capacidad estructural de los pavimentos rígidos que son, aproximadamente, un 1% de la Red Vial Nacional.

Antes de mostrar el resultado de la definición de los valores d1 y d2, se debe aclarar que la evaluación superficial y estructural de los pavimentos son actividades distintas pero complementarias.

La medición de la calidad de un pavimento presenta una dificultad conceptual que depende del objetivo de la evaluación. Toda evaluación de la condición estructural o bien de la condición funcional de una vía, debe complementarse con métodos de auscultación visual basados en criterios de evaluación estandarizados, de modo que, los resultados reflejen de modo integral la condición del tramo evaluado.

Una vez definido esto, se realizaron más de 60 diseños estructurales de pavimentos por el método de la AASHTO-93, evaluando distintos valores de las variables de diseño y utilizando los valores conocidos del tránsito provenientes del "Informe de Encuesta de Carga" (PROYECTO # PI-01-PIIVI-2007) elaborado por la Unidad de Investigación en julio de 2007.

En el Gráfico 3 se presentan los distintos valores de deflexiones características, de la red vial nacional, y se detallan los parámetros de diseño para cada uno de ellos.

Como se mencionó anteriormente, los valores de deflexiones propuestos se calcularon tomando en consideración los niveles de tránsito (TPD) representativos de las principales vías nacionales que resultaron del estudio de "Encuesta de carga para las Rutas Nacionales" donde se evaluaron los principales

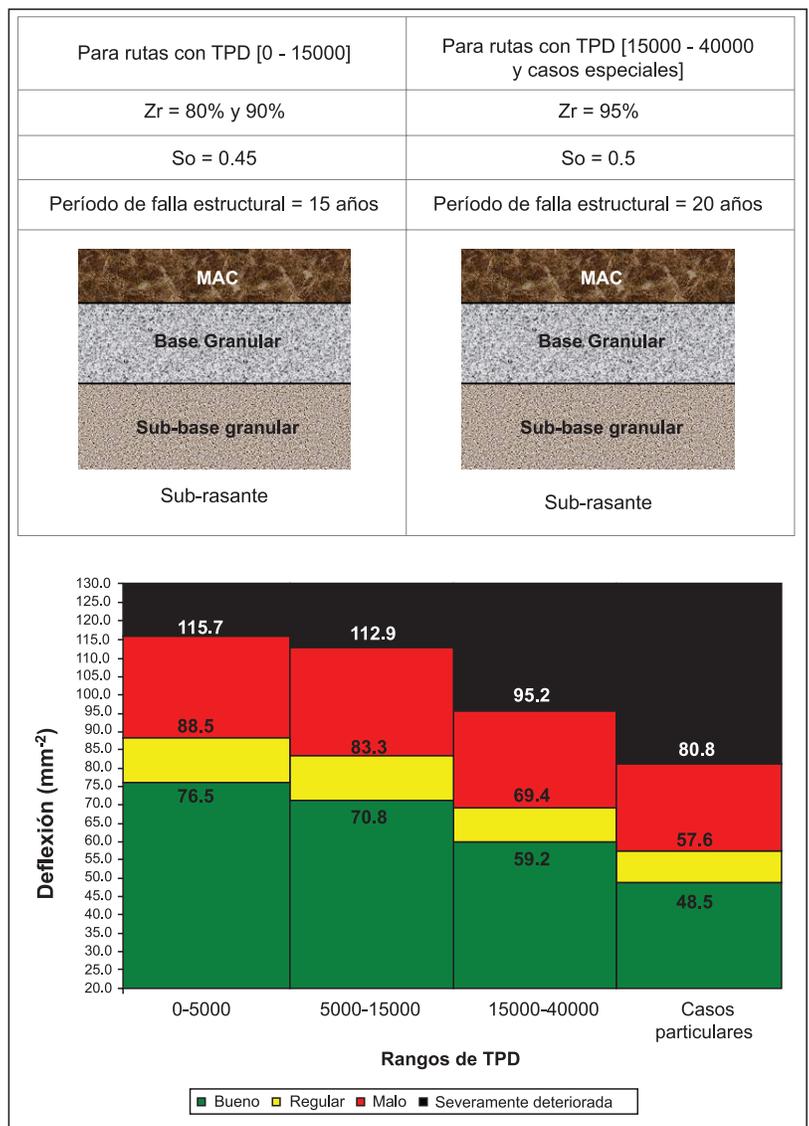
Matriz de calificación del pavimento. Notas de calidad Q de acuerdo al deterioro superficial y a las deflexiones características **Tabla 2**

| Índice de daño superficial Is                                     | Deflexión 10 <sup>-2</sup> mm |         |         |
|---|-------------------------------|---------|---------|
|   | d1                            | d2      |         |
|   | Clase 1                       | Clase 2 | Clase 3 |
| 1 - 2<br>Poca o ninguna fisura o deformación                      | Q1                            | Q8      | Q6      |
| 3 - 4<br>Fisuras con o sin deformación. Deformaciones sin fisuras | Q2                            | Q5      | Q8      |
| 5 - 6 - 7<br>Fisuras y deformación                                | Q4                            | Q7      | Q9      |

Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

Valores de deflexiones características

Gráfico 3



Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

1. AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C., 1993.

**Tabla 3** Valores de deflexiones características, calculadas por rango de TPD

|                   | Rangos de Tránsito Promedio diarios (TPD) | d1<br>mm 10 <sup>-2</sup> | d2<br>mm 10 <sup>-2</sup> | d3<br>mm 10 <sup>-2</sup> |
|-------------------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| BASE GRANULAR     | 0 - 5000                                  | 76.5                      | 88.5                      | 115.7                     |
|                   | 5000 - 15000                              | 70.8                      | 83.3                      | 112.9                     |
|                   | 15000 - 40000                             | 59.2                      | 69.4                      | 95.2                      |
|                   | Casos particulares                        | 48.5                      | 57.6                      | 80.8                      |
| BASE ESTABILIZADA | 0 - 5000                                  | 36.4                      | 39.7                      | 53.3                      |
|                   | 5000 - 40000                              | 32.05                     | 36.3                      | 50.45                     |
|                   | Casos particulares                        | 24.5                      | 26.9                      | 38                        |

Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

De esta forma, en la Tabla 3 se proponen los valores de deflexiones características para Costa Rica, agrupadas de acuerdo con los rangos de TPD y dependiendo de su estructura con base granular o base estabilizada.

**Propuesta para la definición de estrategias de intervención**

Una vez establecidas las deflexiones características para las rutas nacionales, se propone un modelo de calificación de rutas basado en las notas de calidad del método VIZIR, usado por el Departamento de Planificación Sectorial del MOPT.

Este modelo permitirá calificar los tramos de estudio a nivel de red, combinando las evaluaciones visuales realizadas anualmente con el método VIZIR, con la evaluación bienal de la Red Vial Nacional que realiza el LanammeUCR y que suministra valores de deflexiones medidas con el Deflectómetro de Impacto.

El modelo propuesto se resume en las Tablas 4, 5, 6 y 7.

**Definición de las notas de calidad Q**

En el modelo propuesto en este estudio, se complementa el método VIZIR, agregando un nuevo nivel de deflexiones, denominado d3, que marca el límite a partir del cual se considera que el tramo de estudio ha perdido completamente su capacidad de soportar las solicitaciones de carga y que corresponde a un valor de serviciabilidad final (PSI<sub>final</sub>) igual a 1.5. Adicionalmente, con la incorporación de este nuevo límite de deflexiones, se definen tres nuevas notas de calidad (QF-1, QF-2 y QF-3), que tienen como propósito establecer condiciones donde es recomendable aplicar labores de reconstrucción.

Las demás notas de calidad, son tomadas de aquellas definidas en el método del VIZIR, con unas leves modificaciones.

**La definición de las notas de calidad es la siguiente:**

Q1, Q2 y Q3: Estas calificaciones significan que no hay nada que hacer o solamente trabajos de mantenimiento, cuya solución será dada posteriormente en función del tráfico. Cuando hay solamente trabajos de impermeabilización por hacer, el índice de fisuración (If) interviene para determinar la fecha y el tipo de trabajo.

**Tabla 4** Notas de calidad para rango de deflexiones de 0 - 5000 TPD

| TPD 0 - 5000  |                       |         |         |         |
|---|-----------------------|---------|---------|---------|
| Deflexión 10 <sup>-2</sup> mm                                     | 76.5    88.5    115.7 |         |         |         |
|   | Clase 1               | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 |
| Índice de daño superficial Is                                     | Q1                    | Q2      | Q3      | Q4      |
| 1 - 2<br>Poca o ninguna fisura o deformación                      | Q7                    | Q3      | Q6      | QF-1    |
| 3 - 4<br>Fisuras con o sin deformación. Deformaciones sin fisuras | Q2                    | Q5      | Q8      | QF-2    |
| 5 - 6 - 7<br>Fisuras y deformación                                | Q4                    | Q7      | Q9      | QF-3    |

Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

**Tabla 5** Notas de calidad para rango de deflexiones de 5000 - 15000 TPD

| TPD 5000 - 15000  |                       |         |         |         |
|---|-----------------------|---------|---------|---------|
| Deflexión 10 <sup>-2</sup> mm                                     | 70.8    83.3    112.9 |         |         |         |
|   | Clase 1               | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 |
| Índice de daño superficial Is                                     | Q1                    | Q2      | Q3      | Q4      |
| 1 - 2<br>Poca o ninguna fisura o deformación                      | Q7                    | Q3      | Q6      | QF-1    |
| 3 - 4<br>Fisuras con o sin deformación. Deformaciones sin fisuras | Q2                    | Q5      | Q8      | QF-2    |
| 5 - 6 - 7<br>Fisuras y deformación                                | Q4                    | Q7      | Q9      | QF-3    |

Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

corredores viales del país por un lapso de dos años, adicionalmente, en ese mismo estudio se pudieron calcular los “factores camión” reales, que fueron usados en los diseños estructurales realizados para definir estos valores de deflexión característicos. Por último, se modelaron paquetes estructurales que representan un alto porcentaje de las estructuras de las rutas nacionales, considerando tanto bases granulares como bases estabilizadas.

Q7, Q8 y Q9: Estas calificaciones significan que el pavimento demanda trabajos de refuerzo cuyo espesor (diseño estructural) depende del tráfico y de la capacidad estructural remanente de las vías.

Q4, Q5 y Q6: Estas calificaciones corresponden a la zona de indeterminación, en la cual conviene hallar la causa que provoca la incoherencia entre la capacidad estructural y el examen visual. Puede resumirse esto de la siguiente manera:

Q4: El pavimento presenta un daño pronunciado, a pesar de tener una buena capacidad estructural. Conviene verificar algún factor de corrección de la deflexión, considerando variación estacional de módulos, correcciones por temperatura y el tipo de deterioro superficial encontrado (en particular aquel tipo de deformaciones que no están ligadas, con deformaciones plásticas). Dependiendo de este análisis, será recalificado en Q2 (cuando tiene prioridad el aspecto estructural) o en Q7 (cuando tiene prioridad el deterioro superficial).

Q5: El mismo análisis del caso anterior; se toman en cuenta las variables que puedan incidir en los valores de las deflexiones. Según la respuesta se reclasificará como Q3, Q7 y Q8.

Q6: El pavimento presenta una fuerte deflexión sin deterioro superficial aparente; para validar o invalidar el estado de la superficie, debe verificarse la edad del pavimento con fecha de los últimos trabajos, así como el nivel de tránsito. Según la respuesta se reclasificará en Q3 o Q8.

QF-1: En esta nueva categoría, a pesar de que la condición superficial no presenta deterioros importantes, el nivel de deflexiones es muy alto, evidenciando una pérdida total de vida estructural remanente. Esta condición se asocia con trabajos recientes que mejoraron la capacidad funcional sin ningún aporte estructural. Esta condición es poco duradera y rápidamente pasaría a la categoría QF-2 y requiere de intervenciones tipo reconstrucción en el mediano plazo para solucionar el problema de forma integral.

QF-2: En esta nueva categoría la condición superficial presenta deterioros de categoría intermedia y el nivel de deflexiones es muy alto, evidenciando una pérdida total de vida estructural remanente. Esta condición se asocia con trabajos recientes que mejoraron la capacidad funcional sin ningún aporte estructural pero

| TPD 15000 - 40000   |                               |         |         |         |
|---|-------------------------------|---------|---------|---------|
| Deflexión 10 <sup>-2</sup> mm                                     | Índice de daño superficial Is |         |         |         |
|   | 59.2                          | 69.4    | 95.2    |         |
|   | Clase 1                       | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 |
| 1 - 2<br>Poca o ninguna fisura o deformación                      | Q1                            | Q3      | Q6      | QF-1    |
| 3 - 4<br>Fisuras con o sin deformación. Deformaciones sin fisuras | Q2                            | Q5      | Q8      | QF-2    |
| 5 - 6 - 7<br>Fisuras y deformación                                | Q4                            | Q7      | Q9      | QF-3    |

Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

| Casos Particulares *  |                               |         |         |         |
|---|-------------------------------|---------|---------|---------|
| Deflexión 10 <sup>-2</sup> mm                                     | Índice de daño superficial Is |         |         |         |
|   | 48.5                          | 57.6    | 80.8    |         |
|   | Clase 1                       | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 |
| 1 - 2<br>Poca o ninguna fisura o deformación                      | Q1                            | Q3      | Q6      | QF-1    |
| 3 - 4<br>Fisuras con o sin deformación. Deformaciones sin fisuras | Q2                            | Q5      | Q8      | QF-2    |
| 5 - 6 - 7<br>Fisuras y deformación                                | Q4                            | Q7      | Q9      | QF-3    |

\* Casos particulares: Corresponden a las vías analizadas durante dos años en el estudio de "Encuesta de Carga y determinación de Factores Camión para Costa Rica" y son:

1. Ruta 32. Braulio Carrillo
2. Ruta 140. San Carlos (Ciudad Quesada - Florencia)
3. Ruta 27. Próspero Fernández
4. Ruta 1. General Cañas
5. Ruta 1. Bernardo Soto, Naranjo
6. Ruta 1. Bernardo Soto, Esparza
7. Ruta 2. Florencia del Castillo y
8. Ruta 2. Pérez Zeledón

Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

que ya muestran deterioro considerable. Esta condición es poco duradera y rápidamente pasaría a la categoría QF-3 y requiere de intervenciones tipo reconstrucción en el corto plazo para solucionar el problema de forma integral.

QF-3: En esta nueva categoría la condición superficial presenta deterioros severos y el nivel de deflexiones es muy alto, evidenciando una pérdida total de vida estructural remanente y una condición superficial de intransitabilidad. Esta condición se asocia con trabajos recientes que mejoraron la capacidad funcional, sin ningún aporte estructural, pero que han fallado completamente. Esta condición requiere de intervenciones inmediatas de tipo reconstrucción.

De esta forma, se podrán establecer estrategias de intervención a nivel de red, clasificando los tramos

de estudio como candidatos a MANTENIMIENTO, REFUERZO ESTRUCTURAL O RECONSTRUCCIÓN, dependiendo de su correspondiente nota de calidad asignada con la combinación de la condición superficial por el método VIZIR y el valor de deflexión medido con deflectometría de impacto.

La aplicación de este modelo para definición de estrategias, se puede combinar con los tramos homogéneos definidos en este estudio, ya que estos tramos homogéneos fueron calculados basándose en los datos de IRI (Índice de Regularidad Internacional) y pueden ser usados como “unidades de medición”. Cabe recordar que el IRI es una medida indirecta de la condición superficial, principalmente de aquellos deterioros que influyen en la regularidad superficial, tales como huecos o roderas y, por lo tanto, tramos homogéneos definidos a partir de este índice, son apropiados para ser evaluados y establecer su condición superficial, ya sea por el método VIZIR o por el método de PCI (ASTM D6433).

#### ***Definición de estrategias de intervención a nivel de red, para las rutas nacionales***

El procedimiento de cálculo que se siguió para determinar los índices, consistió en calcular los valores estadísticamente representativos de VIZIR, provenientes de las bases de datos del Departamento de Planificación Sectorial del MOPT y los valores de deflexiones características medidas con deflectómetro de impacto, para todos los tramos homogéneos calculados en este estudio.

El criterio de cálculo utilizado para asignar valores de VIZIR a los tramos homogéneos, fue el de analizar la representatividad estadística de los datos medidos por el Departamento de Planificación Sectorial del MOPT, para el año 2007, para las secciones de control; considerando que los tramos homogéneos fueron determinados por medio del IRI, el cual corresponde a una medición indirecta del nivel de deterioro superficial de un pavimento.

Una vez caracterizados los tramos homogéneos por su índice de condición superficial (Is) del VIZIR, se realizó un análisis similar para asignar valores representativos de TPD, los cuales determinaron los rangos de deflexiones d1, d2 y d3, que se aplicaban de acuerdo con las tablas mostradas anteriormente, así como, los datos de deflectometría representativos, de esta forma, fue posible caracterizar los tramos homogéneos

de acuerdo con su condición estructural, condición funcional, volumen vehicular, deterioro superficial y mediante la metodología del VIZIR modificada, lo que permitió plantear una estrategia de intervención a nivel de red para cada uno de los tramos homogéneos.

Considerando las características de los índices medidos, debería encontrarse una buena correlación entre los valores de los índices de deterioro superficial (VIZIR) y el de regularidad internacional (IRI), sin embargo, el Is del VIZIR no cuantifica algunos deterioros que tienen impacto directo en los valores de IRI, tales como “abultamientos y hundimientos”, “corrugaciones” y “desplazamientos”, etc, por lo que en este caso, la correlación encontrada no es muy buena. En vista de la poca correlación encontrada entre el VIZIR y el IRI, la forma más completa de definir estrategias de intervención en los tramos homogéneos calculados, sería mediante una combinación de ambos índices, siendo coherentes con el enfoque establecido por VIZIR, aquellos tramos donde el cálculo de la nota de calidad Q determine actividades de tipo REFUERZO o RECONSTRUCCIÓN, éstas serían las estrategias más recomendadas, ya que una intervención de este tipo, en el tramo homogéneo, va a corregir por defecto cualquier irregularidad superficial, mejorando la capacidad funcional del tramo.

Cuando la estrategia definida por VIZIR modificado indique labores de tipo INDETERMINADAS o MANTENIMIENTO, antes de establecer estas como las estrategias finales, se debe analizar el correspondiente valor de IRI, ya que, por ejemplo, valores de Q1, Q2 ó Q3 (MANTENIMIENTO) con valores de IRI muy altos, de seguro van a requerir de intervenciones enfocadas al mejoramiento de la regularidad superficial, sin que la capacidad estructural sea una prioridad inmediata en ese tramo, así mismo, valores de Q4, Q5 y Q6 (INDETERMINADOS) con valores de IRI muy bajos, probablemente indiquen fallas en las capas inferiores, donde la capacidad estructural ya ha disminuido y sea factible algún tipo de intervención que mejore la capacidad de soporte de las capas inferiores, sin que la regularidad superficial sea una prioridad inmediata.

Tomando en cuenta la relación que debe existir entre los distintos índices necesarios para la definición de estrategias, en fases posteriores se deben realizar mediciones en tramos de prueba e introducir el cálculo “in situ” de índices más detallados, como el PCI.

| ZONA | TRAMO HOMOGÉNEO | CÓDIGO  | SECCIONES DE CONTROL      | IRI  | PSI | VIZIR | DEFLEXIÓN TRAMO HOMOGÉNEO | TPD del tramo homogéneo | NOTA DE CALIDAD FINAL | ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN | PCI APROX. |
|------|-----------------|---------|---------------------------|------|-----|-------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|------------|
| 2-1  | 1               | 2100101 | 50060                     | 2.50 | 2.5 | 4.0   | 28.0                      | 1905                    | Q2                    | MANTENIMIENTO              | 45         |
| 2-1  | 2               | 2100102 | 50050(0+000-23+200)       | 3.49 | 2.0 | 3.0   | 99.9                      | 2522                    | Q8                    | REFUERZO                   | 60         |
| 2-1  | 3               | 2100103 | 50050(23+200-27+200)      | 3.12 | 2.2 | 4.0   | 116.2                     | 2522                    | QF-2                  | RECONSTRUCCIÓN             | 45         |
| 2-1  | 4               | 2100104 | 50040(0+000-24+700)       | 2.52 | 2.5 | 5.0   | 125.1                     | CASO                    | QF-3                  | RECONSTRUCCIÓN             | 30         |
| 2-1  | 5               | 2100105 | 50040(24+700-30+700)      | 3.65 | 2.0 | 4.0   | 93.4                      | CASO                    | QF-2                  | RECONSTRUCCIÓN             | 45         |
| 2-1  | 6               | 2100106 | 51130                     | 2.94 | 2.3 | 5.0   | 110.3                     | 8816                    | Q9                    | REFUERZO                   | 30         |
| 2-1  | 7               | 2100401 | 50280(0+000-7+600)        | 5.09 | 1.4 | 3.0   | 128.3                     | 700                     | QF-2                  | RECONSTRUCCIÓN             | 60         |
| 2-1  | 8               | 2100402 | 50280(7+600-14+400)       | 4.25 | 1.7 | 3.0   | 82.5                      | 700                     | Q5                    | INDETERMINACIÓN            | 60         |
| 2-1  | 9               | 2100403 | 50290(0+000-3+800)        | 5.15 | 1.4 | 4.0   | 85.7                      | 642                     | Q5                    | INDETERMINACIÓN            | 45         |
| 2-1  | 10              | 2100404 | 50290(3+800-11+800)       | 3.73 | 1.9 | 3.0   | 81.8                      | 642                     | Q5                    | INDETERMINACIÓN            | 60         |
| 2-1  | 11              | 2102101 | 50081                     | 2.80 | 2.4 | 3.0   | 105.1                     | 5888                    | Q8                    | REFUERZO                   | 60         |
| 2-1  | 12              | 2102102 | 50082(0+000-3+600)        | 2.37 | 2.6 | 5.0   | 145.7                     | 5345                    | QF-3                  | RECONSTRUCCIÓN             | 30         |
| 2-1  | 13              | 2102103 | 50082, 50091(0+000-0+800) | 2.92 | 2.3 | 5.0   | 133.0                     | 5536                    | QF-3                  | RECONSTRUCCIÓN             | 30         |
| 2-1  | 14              | 2102104 | 50091(0+800-10+300)       | 2.19 | 2.7 | 5.0   | 99.0                      | 5726                    | Q9                    | REFUERZO                   | 30         |
| 2-1  | 15              | 2115101 | 50211                     | 3.66 | 2.0 | 5.0   | 112.2                     | 3745                    | Q9                    | REFUERZO                   | 30         |
| 2-1  | 16              | 2115102 | 50212                     | 4.85 | 1.5 | 1.0   | 109.1                     | 3280                    | Q6                    | INDETERMINACIÓN            | 90         |
| 2-1  | 17              | 2115901 | 50432, 50431(0+000-3+900) | 5.51 | 1.3 | 4.0   | 81.6                      | 1363                    | Q5                    | INDETERMINACIÓN            | 45         |
| 2-1  | 18              | 2115902 | 50431(3+900-7+000)        | 4.03 | 1.8 | 4.0   | 125.5                     | 1755                    | QF-2                  | RECONSTRUCCIÓN             | 45         |
| 2-1  | 19              | 2125301 | 51060                     | 3.39 | 2.1 | 4.0   | 102.6                     | 1380                    | Q8                    | REFUERZO                   | 45         |
| 2-1  | 20              | 2125302 | 51090(0+000-10+600)       | 2.60 | 2.5 | 6.0   | 96.2                      | 1380                    | Q9                    | REFUERZO                   | 15         |
| 2-1  | 21              | 2125303 | 51090(10+600-12+578)      | 3.96 | 1.8 | 6.0   | 96.5                      | 1380                    | Q9                    | REFUERZO                   | 15         |
| 2-1  | 22              | 2191301 | 50370                     | 8.51 | 0.3 | 6.0   | 139.3                     | 50                      | QF-3                  | RECONSTRUCCIÓN             | 15         |
| 2-1  | 23              | 2191401 | 50321(0+000-7+700)        | 3.92 | 1.9 | 4.0   | 70.0                      | 265                     | Q2                    | MANTENIMIENTO              | 45         |
| 2-1  | 24              | 2191402 | 50321(4+700-8+400), 50322 | 4.95 | 1.5 | 6.0   | 63.7                      | 297                     | Q4                    | INDETERMINACIÓN            | 15         |
| 2-1  | 25              | 2191701 | 50351                     | 6.28 | 1.0 | 3.0   | 110.5                     | 341                     | Q8                    | REFUERZO                   | 60         |
| 2-1  | 26              | 2191702 | 50352                     | 4.65 | 1.6 | 3.0   | 81.4                      | 100                     | Q5                    | INDETERMINACIÓN            | 60         |
| 2-1  | 27              | 2193501 | 51200                     | 4.29 | 1.7 | 1.0   | 103.7                     | 200                     | Q6                    | INDETERMINACIÓN            | 90         |

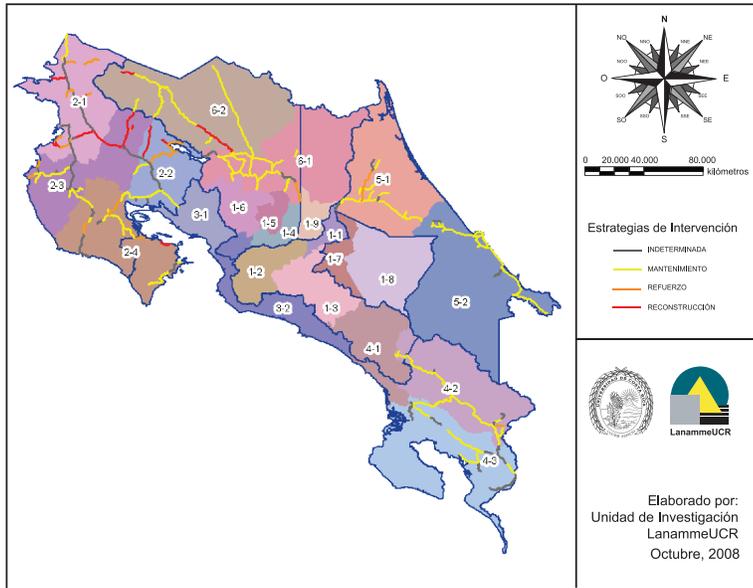
Fuente: Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. LanammeUCR, 2008.

La Tabla 8 muestra un ejemplo del análisis realizado para cada zona de conservación.

La información mostrada en las tablas generadas en el estudio, constituye información muy relevante a nivel de red, que permite plantear estrategias de intervención coherentes con la condición real de las rutas. El procesamiento de los datos existentes en el LanammeUCR y en la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT, permitió generar la información mostrada y gracias a la definición de tramos homogéneos y su caracterización por medio de los distintos índices, es posible plantear tácticas de intervención e inversión de los recursos de forma más racional y eficiente.

Finalmente, toda esta información fue procesada dentro de un software de información geográfica (ver Figura 4), lo cual permitirá almacenar la información estadística y geográfica generada de forma rápida y eficiente, se podrá actualizar y corregir la información de manera automática, conforme se vaya mejorando el cálculo de los índices de condición superficial y los datos de TPD y por supuesto se podrán ubicar con exactitud todos los tramos homogéneos calculados, así como, toda la información procesada de los índices IRI, PSI, PCI, VIZIR, TPD y notas de calidad Q, con su correspondiente estrategia de intervención para cada uno de los tramos.

Figura 4 Mapa final de la información generada a octubre de 2008



## 8. Conclusiones

1. Con la metodología propuesta, es posible establecer estrategias de intervención a nivel de red, considerando la condición de la vía de forma integral, ya que se califican los tramos homogéneos tomando en cuenta su condición estructural, su condición funcional, su nivel de deterioro superficial y el volumen vehicular presente.
2. De los tramos homogéneos analizados en el estudio, un alto porcentaje califican como candidatos a “REFUERZO ESTRUCTURAL” O “RECONSTRUCCIÓN”, por lo que se debe reevaluar su inclusión dentro del esquema establecido actualmente como rutas para “conservación vial”.
3. Se debe introducir en Costa Rica el cálculo de índices de deterioro superficial más detallados (PCI) y mejorar el conocimiento del volumen vehicular (TPD) de las rutas nacionales.
4. En el caso de tramos homogéneos con calificaciones de tipo Q1, Q2 o Q3 (MANTENIMIENTO) asociados con valores de IRI altos, se deben hacer estudios más detallados “in situ” pasando a ser esto un análisis a nivel de proyecto.
5. En el caso de las notas de calidad Q7, Q8 o Q9 (REFUERZO ESTRUCTURAL), QF-1, QF-2 y QF-3 (RECONSTRUCCIÓN), son mandatorias sobre los valores de IRI ya que una intervención distinta a la indicada por la nota Q no sería económica.

## Bibliografía

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. Guide for Design of Pavement Structures. Washington D.C, United States: AASHTO, 1993.
2. American Society for Testing and Materials. D 6433: Prácticas Estandarizadas para Evaluar el Índice de Condición de Pavimentos en Carreteras y Parqueos. West Conshohocken PA 19428-2959, United States: ASTM, 2003.
3. Barrantes, Roy; Loría, Luis Guillermo; Sibaja, Denia; Porras, Juan Diego. Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices para la Red Vial Nacional. Proyecto # UI-PI-04-08. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica: LanammeUCR, 2008.
4. Danieleski, Maria Luiza. Propuesta de Metodología para la evaluación superficial de pavimentos urbanos: Aplicación a redes viales de Porto Alegre. Tesis (Maestría Profesional en Ingeniería). Porto Alegre, Brasil: Universidad Federal de Río Grande del Sur, Escuela de Ingeniería. 2004.
5. Ulloa, Álvaro; Badilla, Gustavo; Allen, Jaime; Sibaja, Denia. Encuesta de Carga. Unidad de Investigación. Proyecto #PI-01-PIIVI-2007. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica: LanammeUCR, 2007.
6. Barrantes, Roy; Badilla, Gustavo; Sibaja, Denia. Propuesta de Rangos para la Clasificación de la Red Vial Nacional. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica: LanammeUCR, 2008.
6. VIZIR. Méthode assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins en entretien d'un réseau routier. Laboratoire central de ponts et chaussées, Paris, Francia : 1991. 63 p.