

Proyecto N° UI-04-08

**DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN CON BASE EN LA DETERMINACIÓN DE
ÍNDICES RED VIAL NACIONAL**

Informe Final

Preparado por
Unidad de Investigación (UI)

Ing. Roy Barrantes Jiménez

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
Tel: (506) 25 11 40 11
E-mail: rbarrantes@lanamme.ucr.ac.cr

Ing. Denia Sibaja Obando

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
Tel: (506) 25 11 49 94
E-mail: dsibaja@lanamme.ucr.ac.cr

Juan Diego Porras Alvarado

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
Tel: (506) 25 11 49 94
E-mail: jporras@lanamme.ucr.ac.cr

San José, Costa Rica
Noviembre 2008

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación e importancia.....	1
1.2 Objetivo General.....	2
1.3 Objetivos específicos.....	3
1.4 Metodología aplicada en el estudio.....	4
CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Pavimentos: terminología y clasificación.....	5
2.2 Sistemas viales y pavimentos urbanos.....	6
2.3 Sistema de administración de pavimentos.....	6
2.4 Evaluación de la condición de los pavimentos.....	8
2.5 Evaluación de la superficie de ruedo.....	10
2.6 Métodos para evaluación de la condición superficial de pavimentos.....	17
2.6.1 Método VIZIR (1991).....	20
2.6.2 Método PCI (1979).....	27
2.6.3 Manual de identificación de deterioros SHRP (1973).....	28
CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE TRAMOS HOMOGÉNEOS, METODOLOGÍA ASHTO-93 APLICADA A VALORES DE IRI DE LA RVN (Costa Rica 2008).....	30
Metodología para la determinación de tramos homogéneos por el método de diferencias acumuladas. (AASHTO 1993).....	30
3.1 Fundamentos.....	30
3.2 Aplicación a variables discontinuas.....	33
3.3 Solución Tabular Secuencial.....	34
3.4 Ejemplo de cálculo.....	36

CAPÍTULO 4: GUÍA DE APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO DE ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) EN TRAMOS HOMOGÉNEOS DEFINIDOS CON EL IRI.....	50
4.1 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento	50
4.2 Unidades de Muestreo	51
4.3 Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación.....	51
4.4 Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección.....	52
4.5 Selección de Unidades de Muestreo Adicionales.....	53
4.6 Evaluación de la condición	54
4.7 Cálculo del PCI de las unidades de muestreo.....	55
Cálculo para Carreteras con Capa de Rodadura Asfáltica	55
Etapa 1. Cálculo de los Valores Deducidos.....	55
Etapa 2. Cálculo del <i>Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)</i>	56
Etapa 3. Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV.....	56
Etapa 4. Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en la Etapa 3.	57
4.8 Cálculo del PCI de una sección de pavimento	57
4.9 Ejemplo de determinación de PCI.....	58
CAPÍTULO 5: CÁLCULO DE LOS INDICES DE REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI) Y SERVICIABILIDAD (PSI) PARA LA RED VIAL NACIONAL. VALORES DE IRI PARA COSTA RICA AÑO 2008.....	73
5.1 Descripción de la metodología aplicada.....	73
5.2 Determinación de los tramos homogéneos, valores de IRI y PSI para las rutas 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 4-2, 4-3, 5-1, 5-2, 6-1 y 6-2 de Conservación Vial, Costa Rica 2008.....	78
CAPÍTULO 6: COMPLEMENTO DEL MÉTODO VIZIR CON RANGOS DE DEFLEXIONES CALCULADOS PARA COSTA RICA. PROPUESTA DE EQUIPARACIÓN DE ESCALAS PCI – VIZIR.	89
6.1 Antecedentes y justificación.....	89

6.2	Complemento de la metodología VIZIR por medio de los rangos de deflexiones.	90
6.3	Definición de las deflexiones características para Costa Rica.....	91
	Definición de los parámetros de entrada para el diseño	92
a.	Período de diseño	92
b.	Porcentaje de crecimiento vehicular.....	93
c.	Índice de serviciabilidad.....	93
d.	Nivel de confianza	93
e.	Paquetes estructurales elegidos	94
f.	Definición de rutas representativas.....	95
g.	Cálculo del número estructural, utilizando la metodología de la Guía de Diseño AASHTO 1993.....	97
h.	Cálculo de los números estructurales correspondientes a la pérdida de capacidad estructural, utilizando el método de “Vida Remanente” descrito en la Guía de Diseño AASHTO 1993.	98
i.	Definición del paquete estructural para los grupos de rutas.....	99
j.	Cálculo de las deflexiones correspondientes a cada paquete estructural, utilizando el EVERSTRESS.....	100
k.	Determinación de los rangos de deflexiones.	101
l.	Propuesta para la definición de estrategias de intervención	104
	a) Paquete estructural con Base Granular	104
	b) Paquete estructural con Base Estabilizada.....	106
m.	Definición de las notas de calidad Q	108
n.	Propuesta de equiparación de escalas entre el método VIZIR y el método PCI de la norma ASTM D6433.....	110
ñ.	Definición de estrategias de intervención a nivel de red, para las rutas nacionales	113
	CONCLUSIONES	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva típica de deterioro	11
Figura 2: Reproducción de la fórmula para clasificación de la serviciabilidad (PSR) usada por AASHO en 1960	12
Figura 3: Esquema para el cálculo del Is	26
Figura 4: Conceptos del método de diferencias acumuladas para determinación de unidades homogéneas	31
Figura 5: Ruta 1, en zona 2-2 del CONAVI.....	36
Figura 6: Paso 1, media móvil.....	44
Figura 7: Paso 2, media móvil.....	44
Figura 8: Paso 3, media móvil.....	45
Figura 9: Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica	50
Figura 10: Formato para las iteraciones del cálculo del CDV.....	57
Figura 11: Zona de Conservación Vial 2-1 y su respectiva red vial pavimentada.....	59
Figura 12: Ruta 1 en Zona 2-1 y las secciones de control que lo componen.	59
Figura 13: Determinación de Tramos Homogéneos.	60
Figura 14: Gráfico de Valores Deducidos (Deterioro 3, Agrietamiento en Bloque).....	65
Figura 15. Paso 1 en la Determinación de Valor Deducido	66
Figura 16. Paso 2 en la Determinación de Valor Deducido	66
Figura 17. Determinación del Valor de deducción corregido	69
Figura 18: División del territorio nacional en las 22 zonas de Conservación Vial.	74
Figura 19: Escala de colores para clasificación funcional de los tramos homogéneos.	88
Figura 20: Matriz de calificación del pavimento. Notas de calidad Q de acuerdo al deterioro superficial y a las deflexiones características.....	91
Figura 21: Equiparación de escalas métodos PCI y VIZIR	112
Figura 22: Zonas evaluadas a octubre de 2008.....	113
Figura 23: Mapa final de la información generada a octubre de 2008	127

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Determinación de rangos de IRI y valores de PSI para diferentes condiciones de una superficie de ruedo.	17
Tabla 2: Valores de Is para diferentes estados de una superficie de ruedo.	21
Tabla 3: Deterioros tipo A	23
Tabla 4: Deterioros tipo B	24
Tabla 5: Rangos de calificación del PCI.....	27
Tabla 6: Defectos considerados en el manual SHRP (SHRP,1993)	29
Tabla 7: Método de Diferencias Acumuladas – Solución Secuencial	35
Tabla 8: Datos para la determinación de tramos homogéneos.....	36
Tabla 9: Datos generales para la determinación de tramos homogéneos.	37
Tabla 10: Datos de estacionamiento y valores respuesta (IRI en este caso).....	37
Tabla 11: Datos de estacionamiento, identificadores y valores respuesta	38
Tabla 12: Datos de distancias acumuladas	38
Tabla 13: Promedio de respuesta en el intervalo [i-1, i].....	39
Tabla 14: Cálculo del área bajo la curva	39
Tabla 15: Cálculo del área acumulada	40
Tabla 16: Cálculo de las diferencias de áreas.....	41
Tabla 17: Resultados obtenidos (valores de Z_x)	42
Tabla 18: Resultados obtenidos (valores de Z_x)	48
Tabla 19: Resultados obtenidos (valores de Z_x)	49
Tabla 20: Relaciones longitud – ancho para unidades de muestreo.....	51
Tabla 21: Tramos homogéneos obtenidos.	60
Tabla 22: Tramo homogéneo ejemplo.....	61
Tabla 23: Tramo homogéneo ejemplo.....	61
Tabla 24: Resumen Datos de Evaluación Visual para Unidad de Muestreo 5	63
Tabla 25: Valores de Densidad y Valores Deducidos.....	64
Tabla 26: Valores de CDV	70
Tabla 27: Cálculo del PCI.....	71
Tabla 28: Rangos de calificación del PCI.....	72
Tabla 29: Deterioros Propuestos por la Norma PCI.....	72
Tabla 30: División del territorio Nacional en las 22 zonas de Conservación Vial.....	75
Tabla 31: Número estructural para los ESAL`s de diseño	97

Tabla 32: Número Estructural con respecto a la reducción de Vida Remanente	98
Tabla 33: Módulos típicos para materiales	99
Tabla 34: Variación de las deflexiones (mm-2) con respecto a la reducción de Vida Remanente	100
Tabla 35: Valores de deflexiones características calculadas por rango de TPD	103
Tabla 36: Notas de calidad para rango de deflexiones de 0 – 5000 TPD	104
Tabla 37: Notas de calidad para rango de deflexiones de 5000 – 15000 TPD	105
Tabla 38: Notas de calidad para rango de deflexiones de 15000 – 40000 TPD	105
Tabla 39: Notas de calidad para rango de deflexiones de Casos Particulares	106
Tabla 40: Notas de calidad para rango de deflexiones de 0 – 5000 TPD	106
Tabla 41: Notas de calidad para rango de deflexiones de 5000 – 40000 TPD	107
Tabla 42: Notas de calidad para rango de deflexiones de Casos Particulares	107

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Zx contra distancia.....	43
Gráfico 2: Línea media móvil.....	45
Gráfico 3: Zx contra distancia y se coloca línea de media móvil.....	46
Gráfico 4: Selección de tramos homogéneos.....	47
Gráfico 5: Rangos de IRI para Pavimentos Flexibles. Modelo de correlación con PSI.....	76
Gráfico 6: Porcentaje de pesados en el cuartil 75% para los diferentes rangos de TPD.	96
Gráfico 7: Rangos de deflexión en mm-2 propuestos para diferentes rangos de TPD.....	101
Gráfico 8: Valores de deflexión en mm-2 propuestos para diferentes rangos de TPD.....	102

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación e importancia

Las técnicas de evaluación de pavimentos son utilizadas 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 metodología 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 toman fundamentadas 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 podrán 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.

1.2 Objetivo General

Brindar una herramienta de gestión, aplicable a nivel de red y de proyecto, que permita calcular distintos índices para la red vial nacional. Estos índices permitirán calificar los distintos tramos homogéneos (en los que se pueden dividir 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.

1.3 Objetivos específicos

1. Proponer un procedimiento para la determinación de tramos homogéneos, con base en la metodología descrita en AASHTO 1993 (se complementará con una hoja de cálculo programada en Excel).
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.

1.4 Metodología aplicada en el estudio

- Estudio bibliográfico sobre temas relacionados.
- Adquisición de datos de IRI de la ERVN 2008
- Clasificar los datos de acuerdo con las 22 zonas de los proyectos de conservación vial
- Aplicar de la metodología para la determinación de tramos homogéneos con los datos de IRI del año 2008.
- Relacionar los tramos homogéneos definidos, con las secciones de control y las rutas de cada una de las zonas.
- Una vez definidos y ubicados los tramos homogéneos, a partir de su valor promedio de IRI se calcula el valor correspondiente de PSI para cada uno de ellos, clasificándolo de acuerdo con los rangos definidos por AASHTO.
- Introducir en Costa Rica la aplicación de la norma ASTM D6433, con su correspondiente catálogo de deterioros y el cálculo de los valores de deducción para ponderación.
- Proponer una metodología que permita equiparar las escalas del método VIZIR con las del método del PCI (ASTM D6433), de forma que la transición a la aplicación de esta norma sea coherente con las actuales estrategias de auscultación.
- Calcular las notas de calidad Q definidas por el método VIZIR para los tramos homogéneos y proponer estrategias de intervención a nivel de red para cada tramo.
- Incorporar la información generada dentro de un sistema de información geográfica, de forma que el manejo, análisis, actualización y complemento de la información sea sencillo y aplicable para la definición de futuras estrategias.

CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pavimentos: terminología y clasificación

Definición: Estructura construida sobre un terraplén y destinada a: Resistir y distribuir los esfuerzos verticales producidos por el tránsito en la subrasante. Mejorar las condiciones de rodamiento en cuanto a confort y seguridad. Resistir los esfuerzos horizontales que actúan sobre la superficie, tornando más durable la superficie de rodamiento.

Subrasante: Terreno de fundación del pavimento o del revestimiento.

Subbase: Capa que permite corregir la subrasante o complementar las características de la base. Generalmente es utilizada cuando no es adecuado construir el pavimento directamente sobre la subrasante.

Base: Capa destinada a resistir y distribuir los esfuerzos verticales provenientes de los vehículos.

Carpeta o revestimiento: Es una capa que se espera sea impermeable. Es la capa que recibe directamente la acción de los vehículos.

Tipos de pavimentos:

Flexibles: Constituidos por un revestimiento bituminoso sobre una base granular o estabilizada

Rígidos: Construidos con cemento Pórtland

Semi-rígidos: En los que la carpeta de ruedo está colocada sobre una base cimentada, como suelo cemento, suelo cal o grava tratada con cemento

Pavimentos compuestos: Pavimentos flexibles y rígidos, con losas de concreto Pórtland cubiertas por carpeta bituminosa

Pavimentos invertidos: Constituidos por una sub-base cimentada, una base granular y capa de rodadura de concreto asfáltico.

2.2 Sistemas viales y pavimentos urbanos

Un sistema vial urbano, está constituido por dos partes, diferenciadas por sus funciones, las vías urbanas convencionales, destinadas al tránsito de vehículos y las vías peatonales.

El presente estudio se referirá únicamente a las vías destinadas al tránsito vehicular.

2.3 Sistema de administración de pavimentos

Un sistema de administración de pavimentos, consiste en una serie de actividades integradas y coordinadas, asociadas al planeamiento, construcción, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. Se intenta con esto, lograr el mayor retorno posible de las inversiones realizadas, de modo que se reduzcan los costos asociados con el mantenimiento, rehabilitación y los costos de operación de los usuarios.

Los sistemas de administración pueden separarse en dos niveles: nivel de proyecto y nivel de red. En el nivel de red se trabaja con información resumida sobre la totalidad de las vías. La información es utilizada para tomar decisiones administrativas sobre las actividades de

planeamiento, programación y presupuesto, el objetivo fundamental es identificar la programación que presenta menor costo total o mayor beneficio en un período de análisis determinado, optimizando la utilización de los recursos disponibles.

Las aplicaciones de un **sistema de gerencia** implantado a nivel de **red** son:

- Identificación de proyectos candidatos para intervenciones, considerando una tasa (o índice) de deterioros.
- Priorización de los proyectos candidatos, considerando las características de desempeño, tránsito, costo a los usuarios y otros factores locales.
- Generación de necesidades de presupuesto de la agencia a corto o largo plazo
- Evaluación de la condición actual del sistema y previsión de la condición futura, con base en los recursos aplicados.

Los principales objetivos son:

- Mantener actualizada la información referente a las características de las vías
- Dimensionar a nivel financiero, temporal y técnico las intervenciones necesarias con el establecimiento de jerarquía vial y la priorización de la misma. Así mismo se deben adecuar las diversas acciones de conservación con los recursos financieros disponibles.
- Fortalecer la programación de actividades de conservación con la información técnica necesaria para la toma de decisiones, de forma que se garantice la conservación del patrimonio público representado por los pavimentos
- Documentar y dar seguimiento a las actividades de mantenimiento, conservación y expansión de la red vial y sus pavimentos.

En el nivel de **proyecto**, se toman decisiones técnicas de gerencia para proyectos específicos, con un mayor detalle de las alternativas para una sección particular dentro de un programa total. Una estrategia óptima es seleccionar la mejor alternativa a partir de comparaciones beneficios / costos.

2.4 Evaluación de la condición de los pavimentos

La evaluación de los pavimentos es una de las principales etapas de un Sistema de Administración de Pavimentos, pues a través de esta se puede verificar si el pavimento necesita mantenimiento, reconstrucción, si ha sido construido y está atendiendo las especificaciones para las que fue proyectado.

Las actividades de evaluación incluyen la verificación periódica de las características actuales de las secciones, en cuanto a capacidad estructural, deterioros, irregularidad y resistencia al deslizamiento.

Los datos de las evaluaciones puede ser usados para:

- Verificar la capacidad de los pavimentos para cumplir con sus funciones
- Determinar la condición actual de la red vial
- Elaborar curvas de desempeño a partir del conocimiento de una serie de datos históricos
- Establecer prioridades en la programación de inversión tomando en cuenta las restricciones presupuestarias
- Mejorar las tecnologías de proyección, construcción y mantenimiento de los pavimentos a través de la determinación de las causas del deterioro.
- Actualizar programas de mejorías en los niveles de red.

La condición de un pavimento incluye cuatro componentes principales: confort, capacidad estructural, seguridad y confort visual (estética).

Dentro de los elementos que debemos considerar como parte de la evaluación de la condición de un pavimento tenemos: a) inventario vial, b) seguridad vial, c) comportamiento estructural, d) deterioros superficiales y e) desempeño.

Un inventario se refiere directamente a los datos del pavimento, que incluyen sus características estructurales y de resistencia de los materiales constituyentes. Pueden ser obtenidos por muestreos y/o ensayos físicos que refuercen la información existente sobre los espesores de las capas y las propiedades de los materiales.

La evaluación en cuanto a las condiciones de seguridad envuelve la evaluación de la resistencia ante el deslizamiento, además se puede incluir la ocurrencia de roderas que pueden ocasionar hidroplaneo.

Los costos pueden ser monitoreados a través de la acumulación histórica de gastos iniciales y futuros de construcción y mantenimiento.

El comportamiento puede ser definido como una respuesta inmediata del pavimento ante la aplicación de una carga. Esta respuesta está directamente relacionada con las características de los materiales.

El deterioro se refiere a los daños presentes en el pavimento, que pueden ser monitoreados por las inspecciones periódicas de la condición superficial. También pueden ser acompañadas por la documentación de servicios de rehabilitación realizados. Los datos históricos acumulados de la condición del pavimento generan información importante para la evaluación de los pavimentos a lo largo de su vida.

El desempeño puede ser definido como el histórico de servicio del pavimento. El servicio del pavimento es la habilidad de una sección de pavimento de soportar el tráfico de automóviles y camiones, en una época de observación, con volúmenes elevados y altas velocidades. Su monitoreo es realizado a través de levantamientos periódicos, a partir de una evaluación subjetiva utilizando una escala de servicio, o una medición de las irregularidades

longitudinales y transversales que indique el nivel de servicio en el que se encuentra determinado pavimento.

Los diferentes tipos de evaluación de pavimentos se complementan entre sí, es decir uno no debe sustituir a otro. Por ejemplo si se desea evaluar el nivel de serviciabilidad usando un modelo que considera entre sus variables la existencia de huecos o baches, no significa que este modelo muestre una evaluación adecuada de todos los deterioros o el desempeño.

Las evaluaciones de condición de deterioros o desempeño, normalmente son clasificadas como evaluaciones funcionales. La evaluación funcional tiene que ver con el confort o con la calidad de rodamiento y esta relacionado con la verificación del comportamiento del pavimento: su desempeño y funcionalidad, para el tráfico de vehículos y por lo tanto está directamente relacionado con el punto de vista del usuario.

La evaluación estructural, por otro lado sirve para la verificación de la capacidad de carga del pavimento y su capacidad estructural.

Entender la interrelación entre la evaluación funcional y la estructural es vital para entender un sistema de administración de pavimentos. En cuanto al nivel de servicio se indican las condiciones presentes del pavimento, y la evaluación estructural, puede ser usada para estimar la respuesta futura del pavimento al tránsito al que está sujeto. Una baja capacidad estructural, sin embargo, puede ser reflejada a través de una rápida reducción del nivel de servicio.

2.5 Evaluación de la superficie de ruedo

Para analizar el desempeño de los pavimentos o su comportamiento funcional es necesario contar con información histórica de la calidad de rodamiento en un período de análisis y su

respectivo tránsito. Esta información puede ser obtenida a través de evaluaciones periódicas.

El desempeño del pavimento puede ser determinado a través de su vida de servicio utilizando curvas típicas de deterioro, como se muestra en la Figura 1.

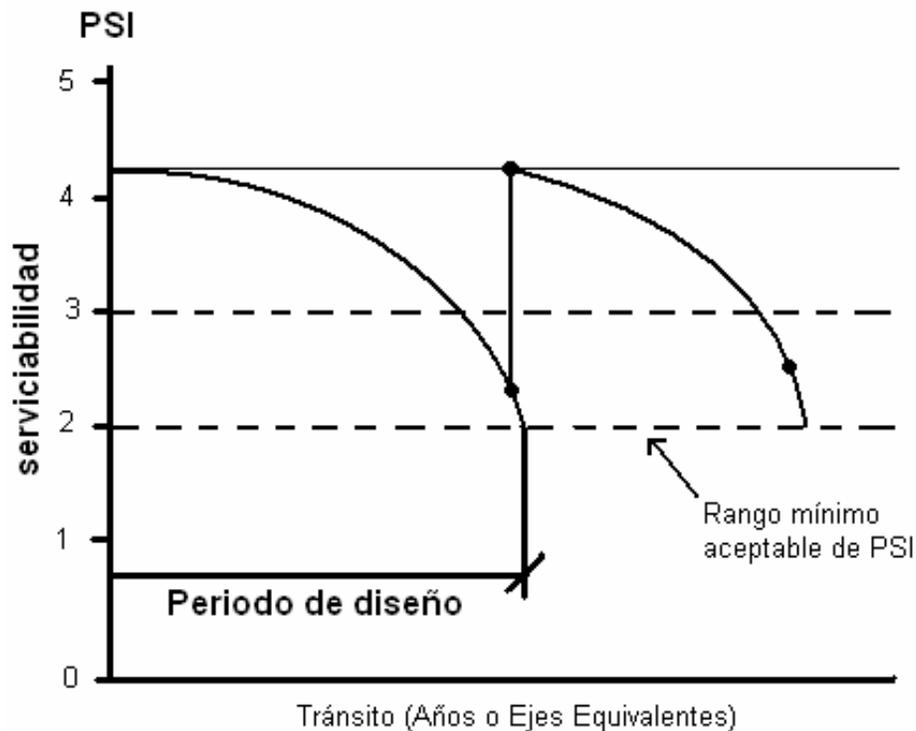


Figura 1: Curva típica de deterioro

La evaluación de la superficie es realizada utilizando el concepto de serviciabilidad, que fue inicialmente propuesto para ser utilizado en las investigaciones de la AASHO "Road Test" (1950).

La serviciabilidad de un pavimento está relacionada con el propósito para el cual el pavimento fue construido.

Su medición debe considerar la perspectiva del usuario que es influenciada por diversos atributos del pavimento:

- La respuesta o sensación caracterizada por una determinada interacción: pavimento – vehículo – pasajero a una determinada velocidad

- La respuesta a factores relacionados con la existencia de deterioros, condiciones de acercamiento, etc.

El valor de la serviciabilidad actual o PSR es una metodología que se desarrolló en 1960 para evaluar el desempeño de los pavimentos ensayados por la AASHO. Consiste en una evaluación realizada por una “comisión juzgadora” de la capacidad del pavimento de servir al tránsito. La condición del pavimento es clasificada en una escala que varía de muy pobre a muy buena, atribuida a través de notas que varían de 0 a 5 respectivamente. En la Figura 2 se muestra la fórmula utilizada para la clasificación de la serviciabilidad.

<u>ACEPTABLE ?</u>																				
SI	<input type="checkbox"/>																			
NO	<input type="checkbox"/>																			
INDECISO	<input type="checkbox"/>																			
		<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 15px;"></td><td style="text-align: right;">MUY BUENA</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 15px;"></td><td style="text-align: right;">BUENA</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 15px;"></td><td style="text-align: right;">REGULAR</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 15px;"></td><td style="text-align: right;">POBRE</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 15px;"></td><td style="text-align: right;">MUY POBRE</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0</td><td style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 15px;"></td><td></td></tr> </table>	5		MUY BUENA	4		BUENA	3		REGULAR	2		POBRE	1		MUY POBRE	0		
5		MUY BUENA																		
4		BUENA																		
3		REGULAR																		
2		POBRE																		
1		MUY POBRE																		
0																				
Identificación de la sección _____		Clasificación _____																		
Evaluador _____		Fecha: _____ Hora: ____ Vehículo: _____																		

Figura 2: Reproducción de la fórmula para clasificación de la serviciabilidad (PSR) usada por AASHO en 1960

Los principios de la hipótesis asumidos en el desarrollo de esta metodología fueron:

- Las carreteras son construidas teniendo en cuenta el confort, la conveniencia y la seguridad para los usuarios
- La opinión de los usuarios en cuanto al modo en que están siendo servidos por las carreteras es generalmente subjetivo

- c) La serviciabilidad de una carretera puede ser expresada por la evaluación dada por los usuarios
- d) Existen características de una carretera que pueden ser medidas cuantitativamente y que, cuando son adecuadamente medidas y combinadas pueden ser relacionadas con la evaluación subjetiva de los usuarios
- e) El desempeño histórico de servicio del pavimento puede ser descrito si es posible observar las características desde la construcción hasta el momento considerado

En proyectos estudiados se correlacionó el PSR con una clasificación de pavimento aceptable o inaceptable. El resultado obtenido fue que pavimentos con un PSR mayor que 3.0 son aceptables y que aquellos con un PSR menor que 2.5 son inaceptables. El estudio no aportó conclusiones para los valores comprendidos entre 2.5 y 3.0 por ejemplo, pues el análisis se refirió a valores de PSR entre 1.5 y 4.5, con incrementos de 0.5.

Estos valores generalmente son utilizados como parámetro para evaluación a nivel de proyecto, de modo que un pavimento debe presentar un PSR límite (2.5 o 3, de acuerdo con el criterio del administrador del proyecto) en el final del período del proyecto o después de un número de pasadas de ejes equivalentes para el cual fue diseñado.

La evaluación de los pavimentos utilizando PSR fue realizada en la AASHO Road Test por un grupo de evaluadores escogidos para representar la opinión de los usuarios. La aplicación de ésta técnica exige un intenso entrenamiento de los equipos evaluadores, con el fin de que sea posible que las mediciones tengan repetibilidad, teniendo en cuenta el carácter subjetivo de la metodología.

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

Producto de desarrollo de modelos de regresión lineal se logró calcular los valores de PSI, a partir de datos provenientes de las distintas secciones de la "Pista de Prueba" construida por

la AASHTO. De esta forma fue posible estimar el PSR como una función derivada de variables como el "Slope Variante", (SV) y considerando el aporte de deterioros como agrietamientos y bacheo, la cual logró estimar un nuevo índice de serviciabilidad objetivo conocido como PSI y representado por la Ecuación 1 en el caso de los pavimentos asfálticos y por Ecuación 2 para los de concreto hidráulico:

Para Pavimentos Asfálticos:

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

Ecuación 1

Para Pavimentos de Concreto Hidráulico:

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

Ecuación 2

Donde:

SV: Varianza de a pendiente longitudinal (Slope Variance) medida con un perfilómetro CHLOE, rod x 10⁻⁶ (in/ft²).

RD: Ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, in.

C (en asfalto): Superficie agrietada, ft²/1000 ft².

C (en hormigón): Longitud total (transversales y longitudinales) de grietas, selladas o abiertos, ft²/1000 ft².

P: Superficie bacheada, ft²/1000 ft².

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

Una vez establecido el PSI como un indicador objetivo de la serviciabilidad de un pavimento, se desarrollaron investigaciones que permitieron establecer distintos modelos de correlación matemáticos para la estimación del PSI en función del IRI, entre ellos tenemos los que se muestran en la Ecuación 3 y en la Ecuación 4:

Para Pavimentos Asfálticos:

$$PSI = 5 - 0.2937X^4 + 1.1771X^3 - 1.4045X^2 - 1.5803X$$

Ecuación 3

$$R^2 = 95\%$$

Para Pavimentos de Concreto Hidráulico:

$$PSI = 5 + 0.6046X^3 - 2.2217X^2 - 0.0434X$$

Ecuación 4

$$R^2 = 96.5\%$$

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

Adicionalmente se establece una ecuación de regresión del análisis de pares ordenados IRI – SV, obteniendo la Ecuación 5:

$$SV = 2.2704 * IRI^2$$

Ecuación 5

$$R^2 = 98.8\%$$

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

Otros modelos propuestos por Al –Omari y Darter (6) son los que se muestran en la Ecuación 6 y en la Ecuación 7 para pavimentos flexibles y rígidos respectivamente :

Al –Omari y Darter (6) para pavimentos flexibles:

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

Ecuación 6

$$R^2 = 73\%$$

Al –Omari y Darter (6) para pavimentos rígidos

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

Ecuación 7

$$R^2 = 73\%$$

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

De esta forma, mediante el uso de este modelo, se pueden establecer rangos para el IRI, cuyos límites van a estar determinados por los correspondientes valores del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), los cuales ya fueron definidos cualitativamente por la AASHO en 1962. En la Tabla 1 se muestran los rangos de IRI correspondientes a los valores de PSI, para las diferentes condiciones de una carretera.

Tabla 1: Determinación de rangos de IRI y valores de PSI para diferentes condiciones de una superficie de ruedo.

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

2.6 Métodos para evaluación de la condición superficial de pavimentos

Una evaluación superficial consiste en comparar las condiciones funcionales y estructurales de los pavimentos a través de la identificación de las patologías de los defectos presentes en la superficie del pavimento. Es realizada a través de procedimientos estandarizados de

medidas e inspecciones. Los defectos considerados son aquellos provenientes del proceso de deterioros causados por una gran gama de factores, tales como tránsito, clima, procesos constructivos y características físicas de los materiales. Estos factores pueden actuar separados o en conjunto.

Existen diversas metodologías para evaluar estas actividades desarrolladas por los departamentos de conservación y mantenimiento vial. La elección de la metodología debe considerar las características y las peculiaridades de los pavimentos existentes en la red vial en estudio así como los objetivos que serán analizados. La eficiencia de las técnicas varía, dependiendo principalmente del nivel de detalle y del número de variables a evaluar, que consecuentemente elevan los costos de la evaluación.

La gran mayoría de estas metodologías fueron desarrolladas por departamentos de transporte de modo que son aplicables a pavimentos revestidos con materiales bituminosos o con losas de concreto.

El principal objetivo de la evaluación superficial es identificar los defectos existentes. La caracterización de los deterioros es obtenida a través de tres tópicos principales:

- a) Tipo de deterioro: Identificación del deterioro y clasificación conforme a su origen (causa).
- b) Severidad: es el estado actual o de evolución del deterioro, que se refleja en el estado de degradación del área del pavimento afectado por el deterioro.
- c) Dimensión de los deterioros: extensión del área del pavimento afectada por cada tipo de deterioro; en algunas metodologías es contabilizada directamente como la densidad del deterioro, representando así una estimación del porcentaje de área afectada por el deterioro.

Las metodologías existentes **difieren** en los siguientes aspectos:

- a) Forma del levantamiento: manual recorriendo a pie el tramo o recorriéndolo con un vehículo a baja velocidad (de 10 a 30 km/h) o con el uso de equipos
- b) Extensión del levantamiento: una evaluación puede ser hecha por muestreo de una sección representativa de la totalidad de la red vial en estudio o evaluando la red de forma completa.
- c) Tipo de pavimento en el que se aplica.
- d) Tipo de deterioros considerados.
- e) Modelo empleado para determinar la condición del pavimento (índices calculados).

Los levantamientos manuales de las características de los defectos son anotados por los evaluadores en plantillas posteriormente procesadas, que pueden ser directamente registradas en las planillas electrónicas de formato digital.

Existen algunos equipos utilizados en actividades de evaluación superficial que registran los deterioros a través de videos que posteriormente son analizados en oficina, con la ayuda de paquetes informáticos especialmente desarrollados para este fin.

En cuanto a la extensión de los levantamientos, se tiene que la evaluación continua y completa de toda la red se ejecuta generalmente cuando la inspección se realiza con el uso de equipos y en el caso de que el evaluador utilice un vehículo. En cuanto a la evaluación por muestreo se prefiere que el levantamiento sea a pie. Sin embargo el muestreo debe considerar los siguientes tópicos:

- a) el área de muestra debe ser lo suficientemente grande para no generar errores de interpretación y la ubicación debe ser de carácter aleatorio y la cantidad de muestras debe ser definida en función de la finalidad del estudio (mayor cantidad para uso en proyectos que para el uso en administración de pavimentos) y de los costos relacionados, ya que un mayor número de muestras implica un aumento en los gastos tanto en personal como en equipo

- b) se recomienda que el área del muestro corresponda a un mínimo de 10% del área total del pavimento cuando el estudio está destinado a la gerencia de pavimentos, y 25% del área si es para nivel de proyecto
- c) Con el fin de garantizar la confiabilidad en los datos se deben adoptar los programas de entrenamiento para los evaluadores y un procedimiento para la verificación de la calidad de los datos levantados que puede consistir en la repetición de los levantamientos en un 2 o 3% del área, por un equipo bien entrenado.

Algunas metodologías poseen modelos matemáticos para, a partir de levantamientos de deterioros, determinar un índice que explique, numéricamente la condición del pavimento. Los modelos difieren entre sí, sin embargo los parámetros normalmente empleados son los tipos de deterioros existentes en el pavimento, los niveles de severidad, la dimensión, expresados por la densidad y frecuencia de ocurrencia y los factores de ponderación.

Los factores de ponderación son obtenidos experimentalmente a través de investigaciones donde son relacionados con las condiciones de tramos de muestra, obtenidos a través de un análisis realizado por especialistas mediante una evaluación subjetiva, de las densidades de frecuencia de los deterioros existentes en los tramos y además una ponderación de la gravedad de cada deterioro y nivel de severidad en relación con los demás.

A continuación se describen los tres métodos analizados es este estudio.

2.6.1 Método VIZIR (1991)

El método VIZIR fue desarrollado por el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Francia a partir de 1972 y tiene como propósito la evaluación de pavimentos flexibles con revestimientos de concreto bituminoso.

Los defectos detectados por el método VIZIR son clasificados teniendo en consideración las distintas reparaciones que deben realizarse para corregir el defecto encontrado. Así mismo, este método clasifica los deterioros en dos categorías, deterioros tipo A y tipo B y cada defecto tiene tres niveles de severidad (baja, media y alta). Los deterioros de **tipo A** son aquellos que evidencian una disminución en la **capacidad estructural** del pavimento y los de **tipo B** son aquellos que evidencian una disminución en la **capacidad funcional** del pavimento.

Esta metodología define la condición del pavimento mediante el Índice de Deterioro Superficial (Is), el cual es un valor adimensional que se calcula a partir del porcentaje de longitud afectada, con respecto a la longitud total del segmento vial estudiado.

El valor del Índice de Deterioro Superficial (Is) varía en un rango comprendido entre 1 y 7, donde un Is = 1 indica una estructura de pavimento en perfectas condiciones y un Is = 7 indica que la estructura se encuentra totalmente destruida, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Valores de Is para diferentes estados de una superficie de ruedo.

Estado superficial	Rango (Is)
Bueno	1 – 3
Regular	3 – 5
Malo	5 - 7

El índice Is tiene una relación inversamente proporcional entre el valor calculado y la calidad de la superficie de ruedo, es decir, entre mayor es el Is menor es la calidad de la vía.

El primer paso para evaluar la condición global de un pavimento por medio de VIZIR es la ejecución del inventario de los daños visibles. Estos deterioros se deben identificar considerando los siguientes factores:

- Tipo: Los deterioros se agrupan en categorías de acuerdo con los mecanismos que las originan.
- Gravedad: Representa la severidad del deterioro en términos de su progresión.
- Extensión: Se refiere al área o longitud del tramo evaluado, que es afectada por un determinado tipo de deterioro.

Además el método clasifica los deterioros de los pavimentos asfálticos en dos grandes categorías que se citan a continuación:

Los Deterioros de **tipo A** que caracterizan una **condición estructural** del pavimento, sea que esté ligada a las condiciones de las diversas capas y el suelo de subrasante o simplemente a las capas asfálticas. Podemos mencionar: a) Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales b) Grietas longitudinales por fatiga, c) Cuero de lagarto y d) Huecos y baches, como se muestra en la Tabla 3 :

Tabla 3: Deterioros tipo A

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD		
	1	2	3
			
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante. Flecha < 20 mm	Deformaciones importantes. Hundimientos localizados o ahuellamientos 20 mm ≤ Flecha ≤ 40 mm	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios Flecha > 40 mm
Grietas longitudinales por fatiga	Fisuras finas en la banda de rodamiento	Fisuras abiertas y a menudo ramificadas	Fisuras muy ramificadas y/o muy abiertas (grietas). Bordes de fisuras ocasionalmente degradados
Piel de cocodrilo	Piel de cocodrilo formada por mallas grandes (> 500 mm) con fisuración fina, sin pérdida de materiales	Mallas más densas (< 500 mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescado en formación.	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (< 200 mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales
Bacheos y parcheos	Intervención de superficie ligada a deterioros del tipo B	Intervenciones ligadas a deterioros tipo A	
		Comportamiento satisfactorio de la reparación	Ocurrencia de fallas en las zonas reparadas

Los Deterioros de **tipo B**, como se muestran en la Tabla 4, en su mayoría del tipo **funcional**, dan lugar a reparaciones que generalmente no están ligadas a la capacidad estructural de la calzada.

Tabla 4: Deterioros tipo B

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD					
	1		2		3	
						
Grieta longitudinal de junta de construcción	Fina y única		<ul style="list-style-type: none"> Ancha (10 mm o más) sin desprendimiento Fina ramificada 		Ancha con desprendimientos o ramificada	
Grietas de contracción térmica	Fisuras finas		Anchas sin desprendimientos, o finas con desprendimientos o fisuras ramificadas		Anchas con desprendimientos	
Grietas parabólicas	Fisuras finas		Anchas sin desprendimientos		Anchas con desprendimientos	
Grietas d borde	Fisuras finas		Anchas sin desprendimientos		Anchas con desprendimientos	
Abultamientos	F < 20 mm		20 mm ≤ F ≤ 40 mm		F > 40 mm	
Ojos de pescado* (por cada 100 metros)	cantidad	< 5	5 a 10	< 5	> 10	5 a 10
	Diametro (mm)	≤ 300	≤ 300	≤ 1000	≤ 300	≤ 1000
Desprendimientos: <ul style="list-style-type: none"> Perdida de película de ligante Perdida de agregados 	Perdidas aisladas		Perdidas continuas		Perdidas generalizadas y muy marcadas	
Descascaramiento	Prof.(mm)	≤ 25	≤ 25	> 25	> 25	
	Area (m ²)	≤ 0.8	> 0.8	≤ 0.8	> 0.8	
Pulimento agregados	No se definen niveles de gravedad					
Exudación	Puntual		Continua sobre la banda de rodamiento		Continua y muy marcada	
Afloramientos: <ul style="list-style-type: none"> de mortero de agua 	Localizados y apenas perceptibles		Intensos		Muy intensos	
Desintegración de los bordes del pavimento	Inicio de la desintegración		La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más		Erosión extrema que conduce a la desaparición del revestimiento asfáltico	
Escalonamiento entre calzada y berma	Desnivel de 10 a 50 mm		Desnivel entre 50 y 100 mm		Desnivel superior a 100 mm	
Erosión de las bermas	Erosión incipiente		Erosión pronunciada		La erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios	

* Cuando el número de ojos de pescado supere el número y el tamaño descritos en la tabla, se deberán enfrentar como deterioros del tipo A

Como se puede ver el origen de los deterioros del tipo B se encuentra asociado a deficiencias constructivas y a condiciones particulares del pavimento que el tránsito ayuda a poner en evidencia.

Es importante notar, que la metodología VIZIR no tiene en cuenta los deterioros de tipo B para el cálculo del Índice de Deterioro Superficial (Is), sin embargo, se deben evaluar durante la auscultación de la vía estos deterioros para efectos de toma de decisiones sobre los tratamientos a realizarse.

Cálculo del Is

Primeramente se debe calcular un índice de fisuración (If), el cual depende de la gravedad y la extensión de las fisuras y grietas de tipo estructural en cada zona evaluada. De forma paralela se debe calcular un índice de deformación (Id), el cual depende de la gravedad y extensión de las deformaciones de origen estructural.

La combinación de estos dos índices If e Id, entrega un primer índice de calificación de la calzada, el cual debe ser corregido en función a la extensión y calidad de los trabajos de bacheo realizados en el pavimento evaluado.

La Figura 3 muestra el esquema con el procedimiento descrito:

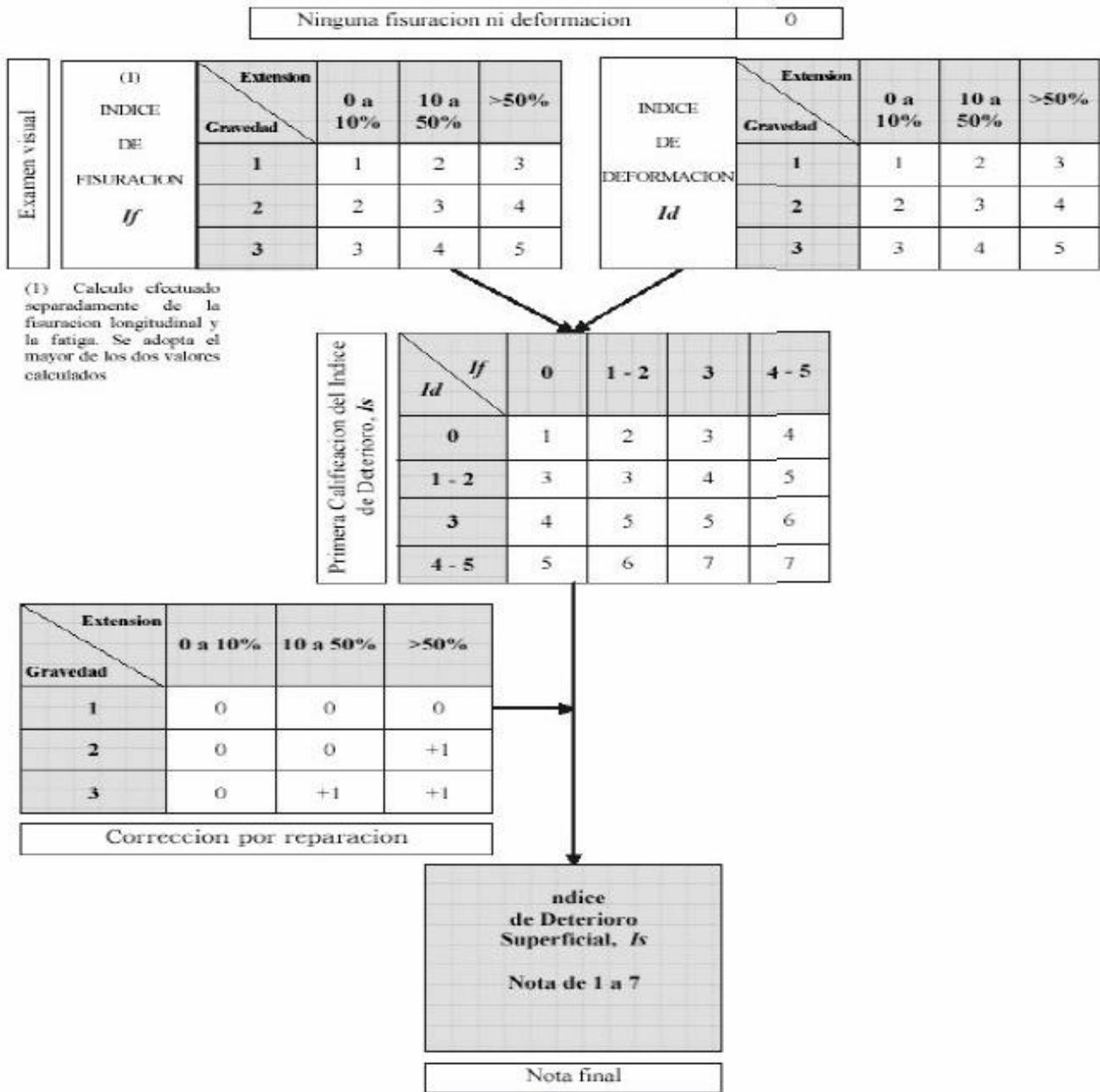


Figura 3: Esquema para el cálculo del *I_s*

Efectuada la corrección, cuando corresponda, se obtiene el “Índice de Deterioro Superficial” (*I_s*), el cual califica el segmento vial en la longitud escogida para el cálculo.

2.6.2 Método PCI (1979)

Este método fue elaborado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (CERL/U.S.Army). Inicialmente fue desarrollado para aplicarse en pavimentos de Aeropuertos y posteriormente fue ampliado su rango de aplicación en autopistas, carreteras y estacionamientos. Este método incluye la evaluación de pavimentos asfálticos y pavimentos rígidos con cemento Pórtland (simples y armados), sin embargo en este trabajo solo se analizará su aplicación en pavimentos flexibles.

El deterioro de la estructura de un pavimento, es una función del **tipo de deterioro**, su **severidad** y cantidad o **densidad** del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron en este método los “**valores deducidos**”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la Tabla 5 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 5: Rangos de calificación del PCI

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y EXTENSIÓN de cada daño. El

PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las **causas** de los daños y su relación con las **cargas** o con el **clima**.

Diversos estudios realizados en Brazil comparando varios métodos, entre ellos el IGG, VSA, el Índice de Gravedad Global Extendido (IGGE), el Índice de Condición para pavimentos Flexibles (ICPF) y el Pavement Condition Index (PCI), recomiendan la utilización de este último método, por ser el más completo y consistente en la validación de los defectos y en la estimación de las condiciones de confort en pavimentos urbanos.

2.6.3 Manual de identificación de deterioros SHRP (1973)

Este manual fue desarrollado dentro del marco del estudio para el Desempeño de Pavimentos de Largo Plazo (LTPP) del Programa Estratégico de Investigación en Carreteras (SHRP, 1993) del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos. El programa fue aprobado por el congreso de los Estados Unidos en 1987 y contó con la participación de más de veinte países.

Se desarrolló con el propósito de crear una base uniforme para la recolección de datos sobre los defectos en pavimentos y estandarizar los términos usados para describir las distintas tipologías de defectos entre todos los organismos que participaron en el programa.

Está constituido por un catálogo de deterioros que presenta las distintas tipologías de defectos en pavimentos flexibles, revestimientos de concreto asfáltico y pavimentos rígidos, construidos con losas de concreto con cemento Pórtland, con juntas transversales o continuos. Se describe una caracterización de cada tipo de deterioro, los niveles de severidad y la forma de la cuantificación de la extensión, identificándolos a través de fotografías y figuras. Un resumen de los defectos descritos en este manual se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6: Defectos considerados en el manual SHRP (SHRP,1993)

Defecto	Forma de medición
Agrietamiento por fatiga	Área
Agrietamiento en bloques	Área
Agrietamiento de bordes	Extensión
Grietas longitudinales	Extensión; registrar la extensión con sellante en buenas condiciones
Agrietamiento por reflexión	Extensión, separado por tipo transversal o longitudinal; registrar la cantidad de grietas transversales; registrar la extensión de grietas longitudinales con sellante en buenas condiciones.
Grietas transversales	Cantidad y extensión
Bacheos	Cantidad y área
Deformación permanente	Registrar la deformación máxima en las roderas
Corrugaciones	Cantidad y área
Exudaciones	Área
Pulimento de agregados	Área
Desgaste	Área
Desnivel entre la carretera y el espaldón	Registrar el desnivel (mm) a lo largo de 15m
Bombeo de finos	Cantidad y extensión

CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE TRAMOS HOMOGÉNEOS, METODOLOGÍA ASHTO-93 APLICADA A VALORES DE IRI DE LA RVN (Costa Rica 2008)

Metodología para la determinación de tramos homogéneos por el método de diferencias acumuladas. (AASHTO 1993)

3.1 Fundamentos

El método de las **Diferencias Acumuladas** es una herramienta que permite delimitar estadísticamente tramos homogéneos utilizando mediciones de repuesta del pavimento. La metodología es de fácil visualización y entendimiento, pero su ejecución manual es una tarea larga, ya que puede involucrar bases de datos de gran tamaño. A pesar de lo mencionado anteriormente su adaptación a soluciones computarizadas y análisis gráfico es sencilla. Este método se puede utilizar para una gran variedad de mediciones de respuesta de pavimentos como lo son deflexiones, serviciabilidad, fricción, índices de deterioro de pavimento, entre otros.

En la Figura 4 se muestra el concepto general del método de diferencias acumuladas, con suposiciones iniciales de valores de respuesta constantes y continuos (r_i) en varios intervalos (0 a x_1 ; x_1 a x_2 ; x_2 a x_3) del tramo en estudio. En la Figura 4(a) se observa claramente que existen 3 unidades con su respectivos valores (r_1 , r_2 y r_3) a lo largo de la sección de estudio, y se observa que se pueden obtener valores o datos del tipo repuesta del pavimento - distancia. Si se quisiera determinar la tendencia que siguen las áreas acumuladas bajo las curvas de respuesta (línea continua en la Figura 4(b)), se obtiene un resultado como se muestra en la Figura 4(b). La línea continua indica el resultado real de los valores de respuesta del pavimento. Como las funciones son continuas y constantes en cada tramo o unidad, el área acumulada, a cualquier distancia x es simplemente la integral de cada valor de respuesta, como se muestra a continuación con la Ecuación 8.

$$A = \int_0^{x_1} r_1 dx + \int_0^{x_2} r_2 dx + \int_0^{x_3} r_3 dx$$

Ecuación 8

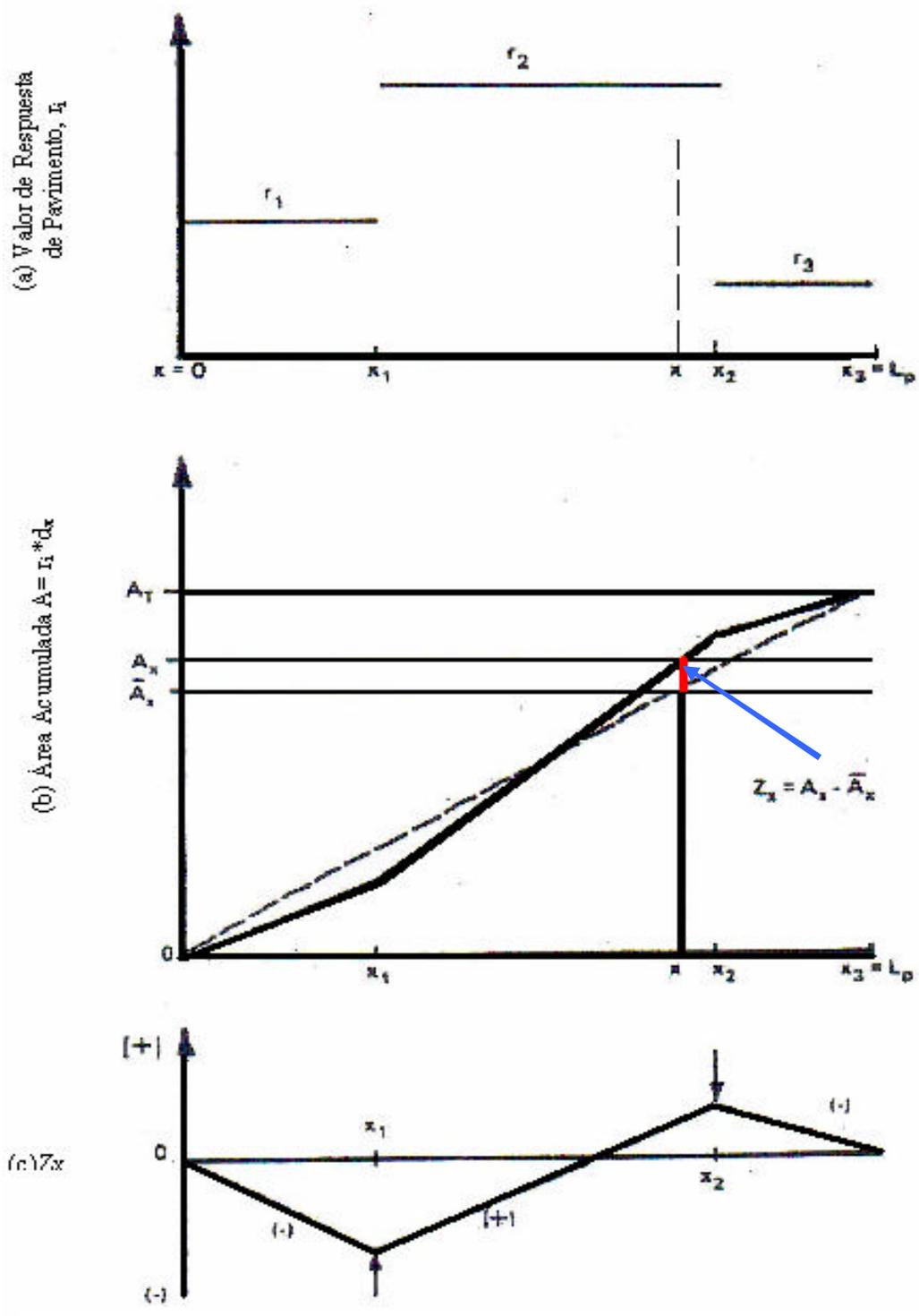


Figura 4: Conceptos del método de diferencias acumuladas para determinación de unidades homogéneas

Donde cada integral es continua en su respectivo intervalo:

$$(0 \leq x \leq x_1), (x_1 \leq x \leq x_2) y (x_2 \leq x \leq x_3)$$

En la Figura 4(b) la línea de rayas representa el área acumulada del valor de respuesta **promedio** del proyecto en estudio. Se debe mencionar que las pendientes de la curva de área acumulada son simplemente los valores de respuesta **para cada unidad** o tramo, mientras que la pendiente de la línea de rayas es el valor de respuesta **promedio** de proyecto en estudio. A cualquier distancia x , el área acumulada del valor de respuesta promedio se calcula como:

$$A = \int_0^x r dx$$

Ecuación 9

Se tiene que:

$$\bar{r} = \frac{\int_0^{x_1} r_1 dx + \int_0^{x_2} r_2 dx + \int_0^{x_3} r_3 dx}{L_p} = \frac{A_r}{L_p}$$

Ecuación 10

Por lo tanto,

$$\bar{A}_x = L_p \times \bar{r}$$

Ecuación 11

Conociendo A_x y \bar{A}_x se calcula la diferencia acumulada Z_x como:

$$Z_x = A_x - \bar{A}_x$$

Ecuación 12

Como se muestra en la Figura 4(b), Z_x es simplemente la diferencia en áreas acumuladas, para cualquier x , entre la línea real y línea promedio del proyecto, en la Figura 4(b) se muestra el área en rojo como la diferencia que existe entre A_x y \bar{A}_x . Si se grafica Z_x contra x se obtiene un resultado similar al que se muestra en la Figura 4(c). En la gráfica se observa

que cada límite de tramo o unidad coincide con el lugar de cambio de pendiente de Z_x (de positiva a negativa o viceversa). Este concepto fundamental es la base utilizada para determinar analíticamente la ubicación de los límites de las unidades o tramos.

3.2 Aplicación a variables discontinuas

Las figuras esquemáticas presentadas anteriormente están altamente idealizadas para comprender el concepto. En la práctica, las mediciones son normalmente discontinuas (medidas puntuales), obtenidas de intervalos distintos y nunca constantes, inclusive en un tramo o unidad. Para aplicar lo principios mencionados anteriormente para obtener una solución metodológica capaz de tomar en cuenta condiciones de discontinuidad, se debe utilizar un método de diferencias numérico. Donde la forma de la función Z_x está dada por la Ecuación 13:

$$Z_x = \sum_{i=1}^a a_i - \frac{\sum_{i=1}^a a_i}{L_p} \sum_{i=1}^a x_i$$

Ecuación 13

Donde:

$$a_i = \frac{(r_{i-1} + r_i)}{2} * x_i = \bar{r}_i * x_i$$

Ecuación 14

(Nota: permita $r_0 = r_1$)

Donde:

n = el n número de mediciones de respuesta de pavimento,

n_t = número total de mediciones tomadas en el proyecto,

r_i = valor de la respuesta del pavimento en la medición i ,

\bar{r}_i = promedio de los valores de la respuesta de pavimento entre $(i-1)$ y i ,

L_p = longitud tota de proyecto.

Si las mediciones se toman con intervalos iguales, la Ecuación 13 se reduce a:

$$Z_x = \sum_{i=1}^n a_i - \frac{n}{n_t} \sum_{i=1}^a a_i$$

Ecuación 15

3.3 Solución Tabular Secuencial

La Tabla 7 muestra como se realiza la solución secuencial progresivamente y los cálculos correspondientes para el análisis de intervalos de distancias diferentes. Cada celda se explica en esta misma tabla.

Tabla 7: Método de Diferencias Acumuladas– Solución Secuencial

Col. (1)	Col. (2)	Col. (3)	Col. (4)	Col. (5)	Col. (6)	Col. (7)	Col. (8)	Col. (9)
Distancia entre Estación	Valor de Respuesta de Paviment.	Número de inter.	Distancia entre inter.	Distancia Acumulada	Promedio de Respuesta del pavimento	Intervalo de Área real	Área Acumulada	Valor de Z_x $Z_x = \text{Col. (8)}$
(dist.)	(r_i)	(n)	($?x_i$)	($? ?x_i$)	(r_i)	(a_i)	($? a_i$)	$- F^* \text{ Col. (5)}$
1	r_1	1	$?x_1$	$?x_1$	$\bar{r}_1 = r_1$	$a_1 = \bar{r}_1 \Delta x_1$	a_1	$Z_{x1} = a_1 - F^* ?x_i$
2	r_2	2	$?x_2$	($?x_1 + ?x_2$)	$\bar{r}_2 = \left(\frac{r_1 + r_2}{2} \right)$	$a_2 = \bar{r}_2 \Delta x_2$	$a_1 + a_2$	$Z_{x2} = (a_1 + a_2) - F^*(?x_1 + ?x_2)$
3	r_3	3	$?x_3$	($?x_1 + ?x_2 + ?x_3$)	$\bar{r}_3 = \left(\frac{r_2 + r_3}{2} \right)$	$a_3 = \bar{r}_3 \Delta x_3$	$a_1 + a_2 + a_3$...
...
...
Lp	r_n	N_t	$?x_{nt}$	($?x_1 + \dots + ?x_{nt}$)	$\bar{r}_{nt} = \left(\frac{r_{n-1} + r_n}{2} \right)$	$a_{nt} = \bar{r}_{nt} \Delta x_{nt}$	$a_1 + \dots + a_{nt}$	$Z_{xnt} = (a_1 + \dots + a_{nt}) - F^*(?x_1 + \dots + ?x_{nt})$

3.4 Ejemplo de cálculo

“Se realiza el siguiente ejemplo con resultados de IRI para la ruta 1 en la zona 2-2, de la evaluación del año 2008, ver Figura 5

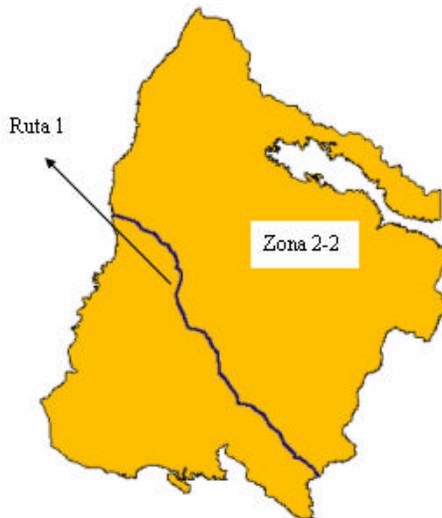


Figura 5: Ruta 1, en zona 2-2 del CONAVI

- 1) Para la determinación de tramos homogéneos, se debe contar con una lista de datos, estos datos pueden ser índice de regularidad (IRI), deflexiones, fricción, índice de serviciabilidad de pavimento (PSI), índice de la condición de pavimento (PCI), entre otros. Como ya se mencionó anteriormente, se usarán datos de IRI. Algunos datos ejemplo se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Datos para la determinación de tramos homogéneos.

Respuesta de Pavimento (IRI)	Distancia (metros)
3.07	0
2.85	100
2.77	100
...	...
...	...
4.59	100

2) Los datos generales se muestran en la Tabla 9

Tabla 9: Datos generales para la determinación de tramos homogéneos.

Datos Generales	Valor
Datos a utilizar	IRI
Distancia entre cada medición (si fuera constate)	100 metros
Longitud total del tramo en estudio	48100 metros
Número de datos	481 datos

3) Se introducen los datos del valor de respuesta utilizado, este caso IRI y la distancia de medición. En la columna 1 se introduce a distancia y en a columna 2 se introduce el valor de respuesta de pavimento, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: Datos de estacionamiento y valores respuesta (IRI en este caso).

Col. 1 (Estación)	Col. 2 (Valor de respuesta de pavimento)
(Distancia)	(IRI)
0	3.07
100	2.85
100	2.77
...	...
100	4.59

4) Se completan las columnas 3 y 4. La columna 3 se refiere al número de dato correspondiente a cada medida, en orden descendente, de i a n (donde n es e numero intervalos de datos; para el ejemplo de 1 a 481). La columna 4 es a distancia entre cada medición realizada, para este ejemplo la distancia es constante = 100 m. Cuando las distancia no son iguales se calcula la diferencias entre las mediciones. Ver Tabla 11.

Tabla 11: Datos de estacionamiento, identificadores y valores respuesta

Col. 1 Estación (Distancia)	Col. 2 Valor de Respuesta (IRI)	Col. 3 Núm. Intervalo (n)	Col. 4 Intervalo de distancia (?xi)
0	3.07	1	100
100	2.85	2	100
100	2.77	3	100
...
100	4.59	481	100

- 5) Cálculo de la distancia acumulada. Cálculo sencillo, solo se acumulan las distancias, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12: Datos de distancias acumuladas

Col. 5 Intervalo de distancia acumulado (? ?xi)	Col. 2 Intervalo de distancia acumulado (? ?xi)
0+100	100
100+100	200
100+100+100	300
...	...
0+100+100+100+...+100	48100

- 6) Se procede a calcular el promedio de respuesta de pavimento en el intervalo $[i-1, i]$, en este ejemplo se calcula el promedio de las deflexiones por intervalo como se muestra a continuación, en la Tabla 13.

Por ejemplo: r_1 se calcula con r_0 y r_1 .

Tabla 13: Promedio de respuesta en el intervalo $[i-1, i]$

$\bar{r}_1 = r_1 \Rightarrow \bar{r}_1 = 3.07$ $\bar{r}_2 = \frac{(r_1 + r_2)}{2} \Rightarrow \bar{r}_2 = \frac{(3.07 + 2.85)}{2} = 2.96$ $\bar{r}_3 = \frac{(r_2 + r_3)}{2} \Rightarrow \bar{r}_3 = \frac{(2.85 + 2.77)}{2} = 2.81$ <p>....</p> <p>....</p> $\bar{r}_{481} = \frac{(r_{480} + r_{481})}{2} \Rightarrow \bar{r}_{481} = \frac{(3.73 + 4.59)}{2} = 4.16$	Col. 2	Col. 6
	Valor de Respuesta	Promedio de intervalo
	(IRI)	(ri)
	3.07	3.07
	2.85	2.96
	2.77	2.81

	4.59	4.16

7) Después de calcular el promedio de intervalo, se procede a calcular el área bajo a curva a_i (columna 7), la cual se calcula multiplicando el promedio del intervalo de la columna 6 por distancia del intervalo de la columna 4. El cálculo se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14: Cálculo del área bajo la curva

Col. 4	Col. 6	Col. 7
Intervalo de distancia	Promedio de intervalo	Área
(?xi)	(ri)	(ai)
100	3.07	=100*3.07=307
100	2.96	=100*2.96=296
100	2.81	=100*2.81=281
...
100	4.16	=100*4.16=416

- 8) Una vez obtenidas las áreas (columna 7) se procede a calcular las áreas acumuladas (columna 8), como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15: Cálculo del área acumulada

Col. 7 Área (ai)	Col.8 Área Acumulada (∑ ai)
307	=0+307=307
296	=307+296=603
281	=307+296+281=884
...	
416	=307+296+281+...+416=146065

Después de calcular el área acumulada se calculan los valores de A_t y F^* , de la siguiente manera:

$$A_t = \sum_{i=1}^{N_i} a_i = 146065$$

$$F^* = \frac{A_t}{L_p} = \frac{146065}{48100} = 3.04$$

F^* es el valor promedio ponderado de la respuesta de pavimento, en este caso el IRI promedio.

- 9) Por último se calcula el valor de las diferencia de áreas Z_x en donde se le resta al área acumulada, la distancia acumulada por el factor F^* , como se muestra en la Tabla 16

Tabla 16: Cálculo de las diferencias de áreas

Col. 5 Intervalo de distancia acumulado	Col.8 Área Acumulada	Col. 9 Z_x
(? ?xi)	(? ?ai)	Z_x = Col. 8 - F* Col.5
100	307	2.83
200	603	-5.34
300	884	-28.51
...
48100	146065	0.00

10) A continuación se muestra la Tabla 17 con los resultados obtenidos.

Tabla 17: Resultados obtenidos (valores de Z_x)

Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7	Col.8	Col. 9
Estación	(Valor de respuesta pavimento)	Núm. Intervalo	Intervalo de distancia	Intervalo de distancia acumulado	Promedio de intervalo	Área	Área Acumulada	Z_x
(Distancia)	(IRI)	(n)	(Δx_i)	($\sum \Delta x_i$)	(\bar{r}_i)	(a_i)	($\sum a_i$)	$Z_x = \text{Col. 8} - F^* \text{ Col.5}$
0	3.07	1	100	100	3.07	307	307	2.83
100	2.85	2	100	200	2.96	296	603	-5.34
100	2.77	3	100	300	2.81	281	884	-28.51
...
100	4.59	481	100	48100	4.16	416	146065	0.00

11) Después de realizar el trabajo algebraico se necesita el Gráfico 1: Zx contra distancia, esto con el fin de analizar las tendencias de los valores obtenidos.

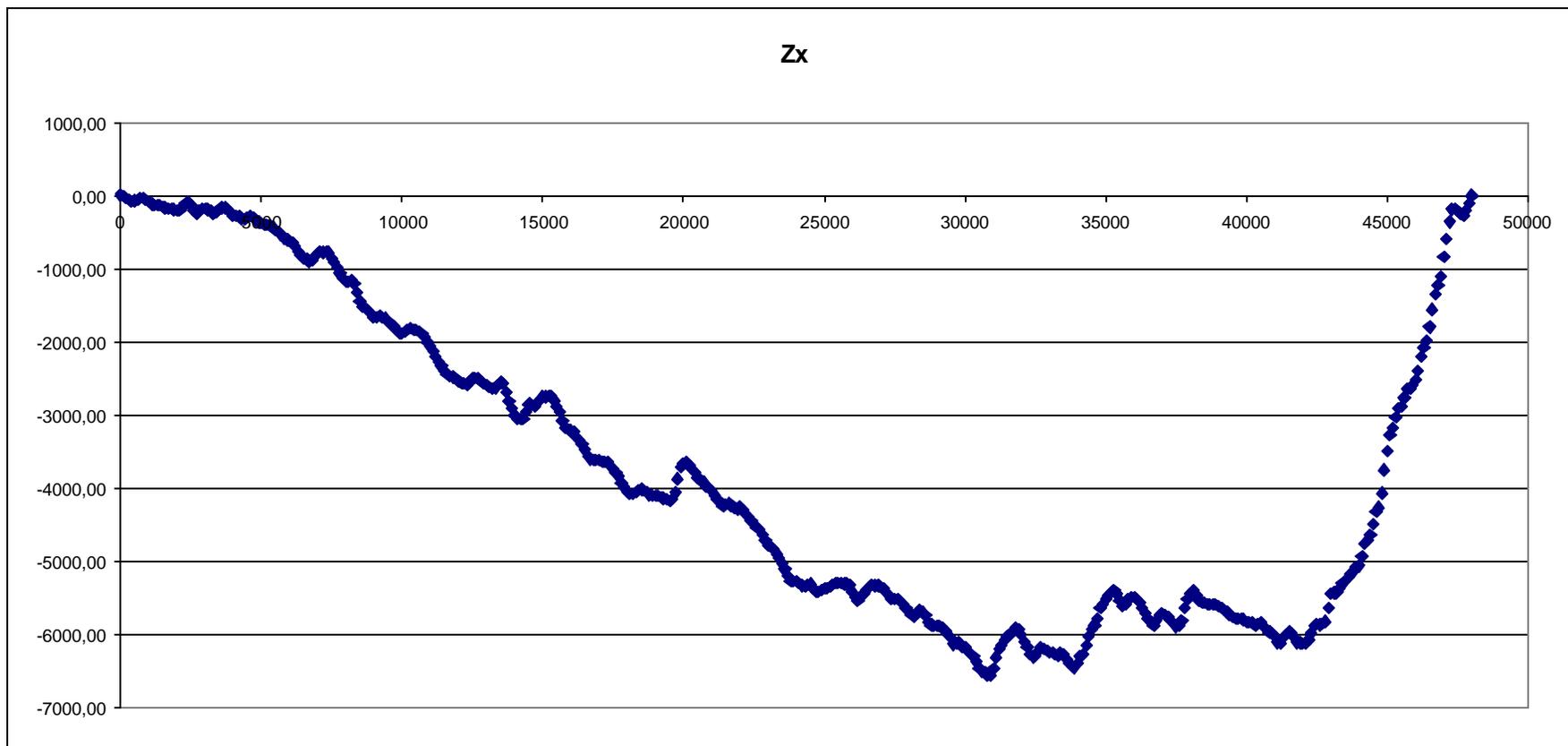


Gráfico 1: Zx contra distancia

12) Al gráfico se le puede aplicar la media móvil con el fin de suavizar la curva y obtener tendencias más claras, cuando sea necesario. A continuación muestra la ubicación de la aplicación en el excel.

Paso 1. Se secciona la serie de datos del gráfico. Figura 6

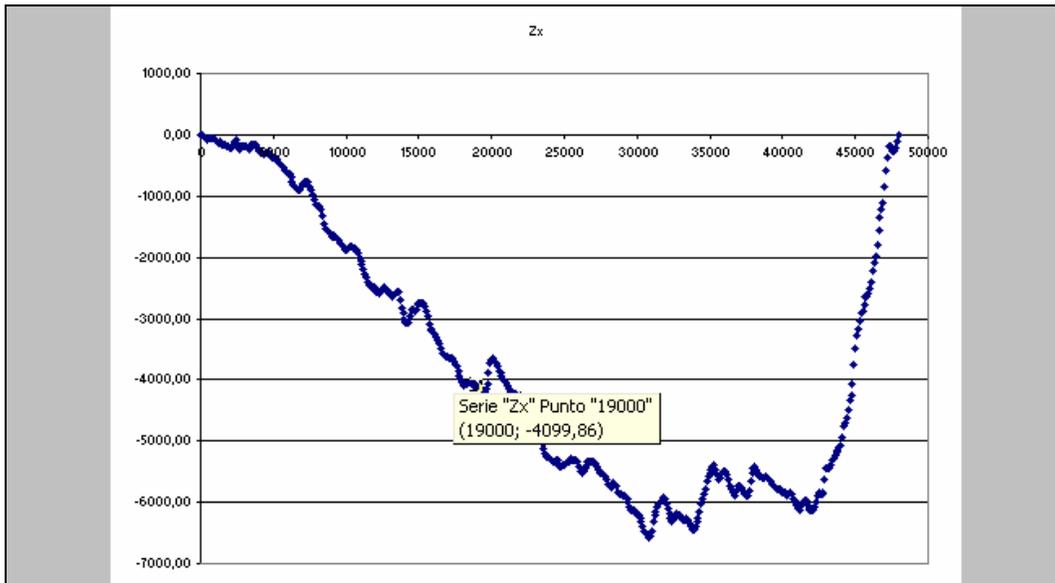


Figura 6: Paso 1, media móvil.

Paso 2. Clic derecho sobre la serie de datos y se selecciona agregar línea de tendencia. Figura 7.

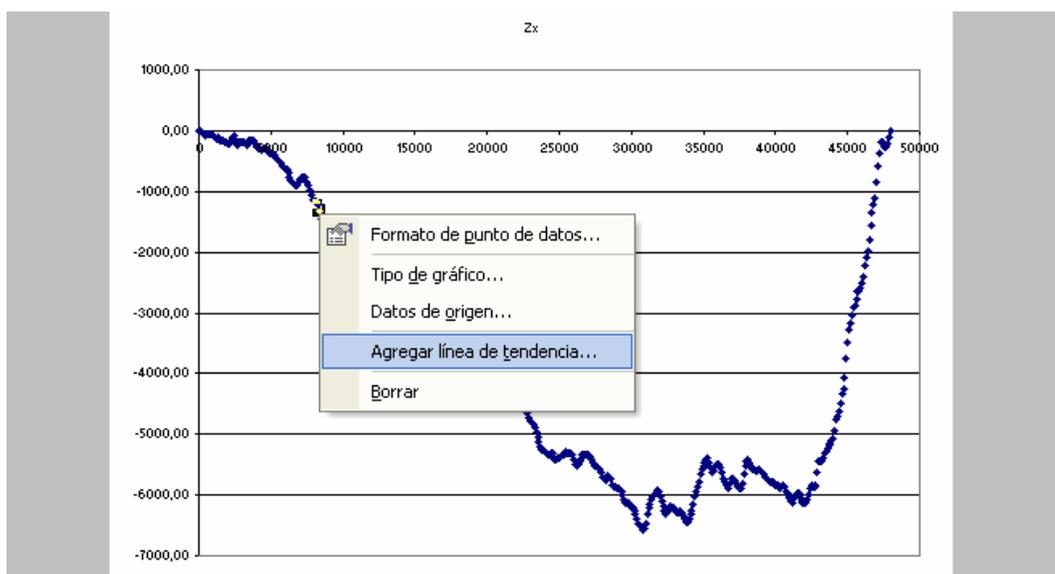


Figura 7: Paso 2, media móvil

Paso 3. Se despliega el cuadro que se muestra en la Figura 8 y se secciona media móvil del periodo que se requiriera. Para el ejemplo se utiliza 20.

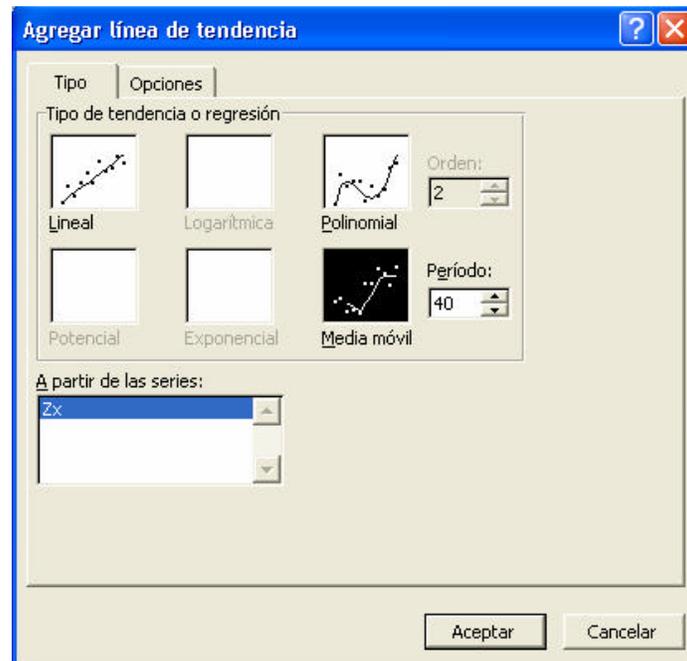


Figura 8: Paso 3, media móvil

Paso 4. Se muestra, en el Gráfico 2, la línea obtenida al aplicar media móvil que clarifica las tendencias del Gráfico 1.

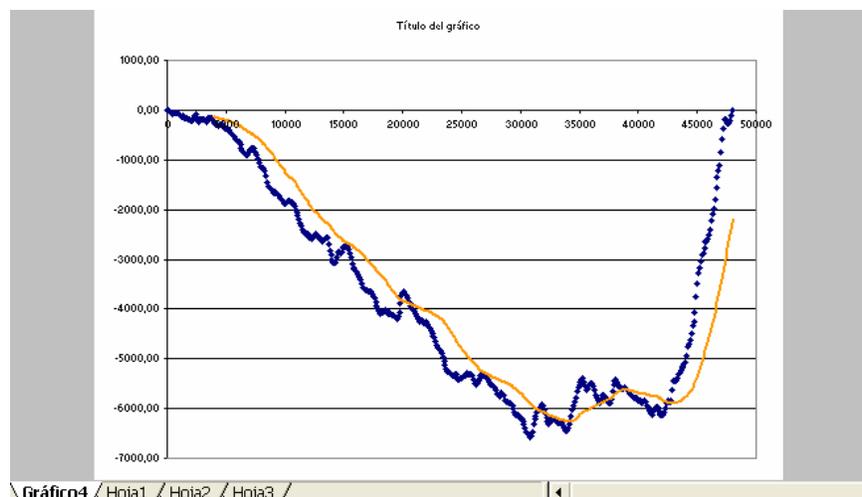


Gráfico 2: Línea media móvil.

Se logra apreciar como se suaviza la curva y también una definición más clara de los tramos que se deben seleccionar.

13) Si se grafica la media móvil al inicio de la serie de datos y no desplazada el periodo utilizado, se obtiene lo siguiente:

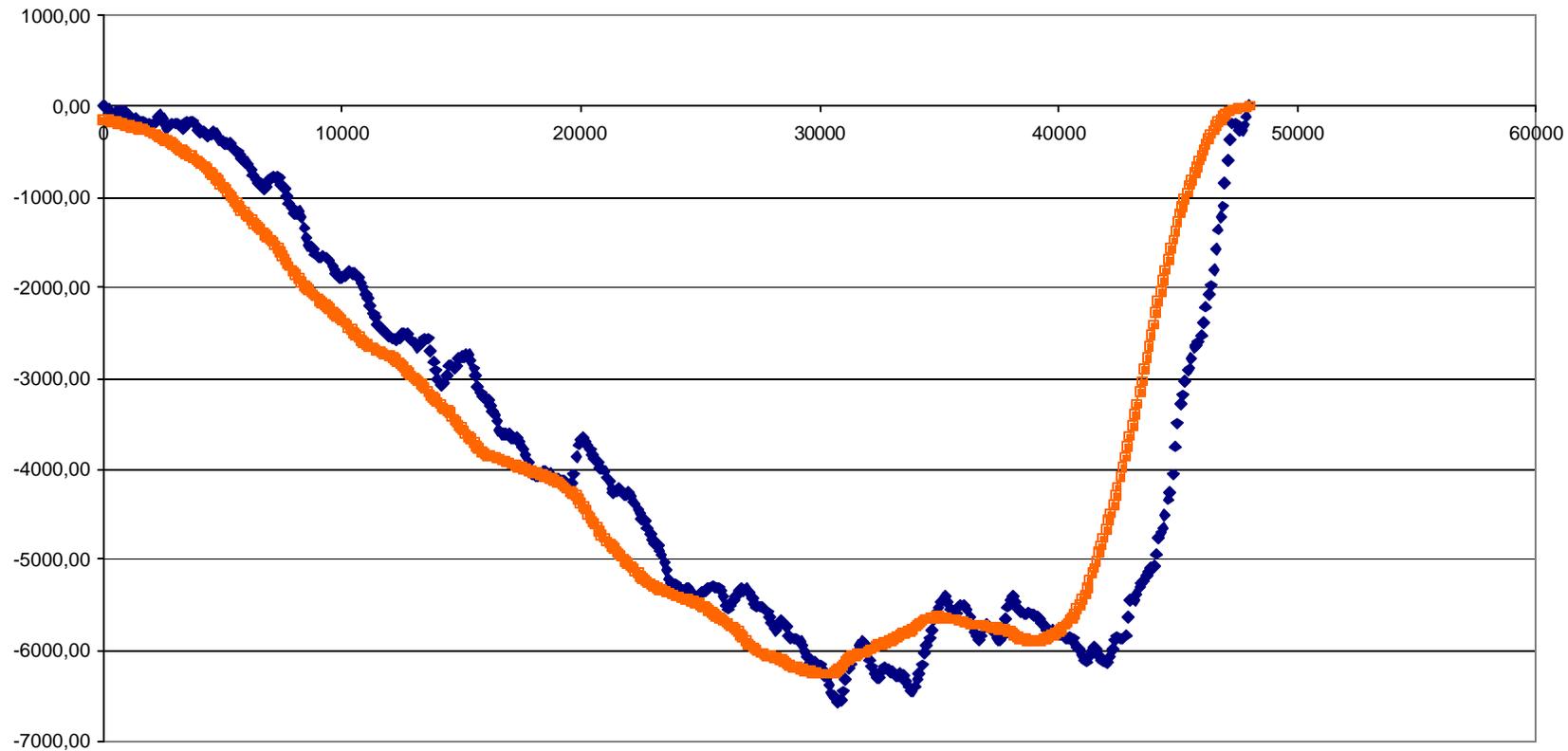


Gráfico 3: Zx contra distancia y se coloca línea de media móvil.

Según el método que se está utilizando- diferencias acumuladas -, un cambio de pendiente significa el inicio de una nueva unidad, por ello se escogen los tramos homogéneos según este criterio. Los puntos en rojo indican el cambio de pendiente seleccionado.

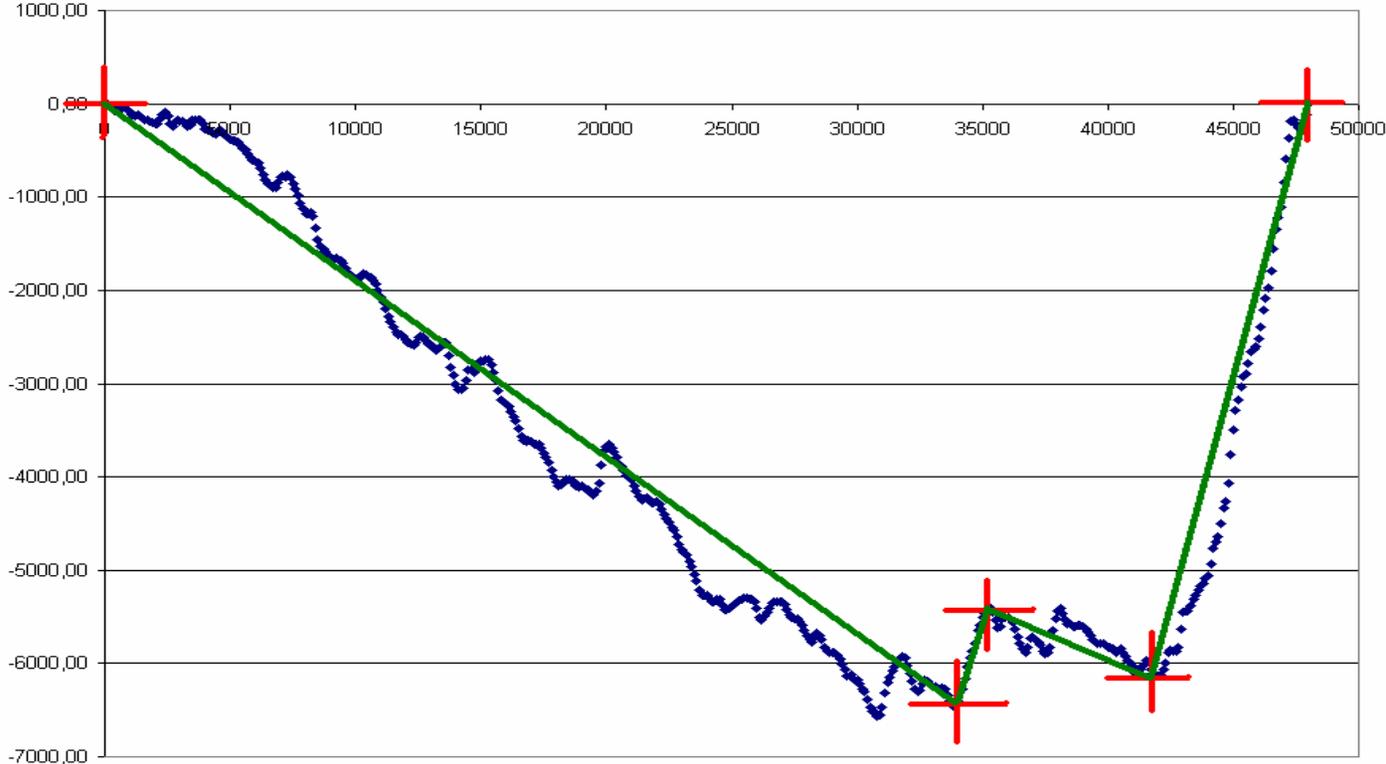


Gráfico 4: Selección de tramos homogéneos.

14) Al obtener los tramos se toma la distancia y con ello se definen los tramos homogéneos, como se muestra en la Tabla 18. Para este caso, en la Ruta 1 se definen los siguientes tramos homogéneos.

Tabla 18: Resultados obtenidos (valores de Z_x)

Tramo Homogéneo	AASHTO 93
1	0 - 3900
2	33900-35100
3	35100-42000
4	42000-48000

15) Luego para comparar este método con el software SPEC se divide la Ruta 1 en dos partes, ya que el número de datos que se pueden introducir en el software ESPEC es reducido.

16) Del análisis de la primera parte, se obtienen los tramos según la metodología AASHTO y según SPEC como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19: Resultados obtenidos (valores de Z_x)

Tramo Homogéneo	AASTHO 93	SPEC
1	0 - 7400	0 -7100
2	7400-12300	7100-10400
3	12300-15300	10400-11600
4	15300-18100	11600-14000
5	18100-20100	14000-15400
6	20100-23900	15400-16700
7	23900-2700	16700-18100
8	27000-28300	18100-20000
9	28300-30000	20000-23800
10		23800-26100
11		26100-27100
12		27100-29900

Como se puede observar los resultados son bastante similares en algunas partes de la curva, no así en los puntos finales, sin embargo es posible justificar de esta forma la aplicación de la metodología AASHTO-93 como una herramienta de mayor sustento técnico que la aplicación de un software como SPEC.

CAPÍTULO 4: GUÍA DE APLICACIÓN PARA EL CÁLCULO DE ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) EN TRAMOS HOMOGÉNEOS DEFINIDOS CON EL IRI

4.1 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. La Figura 9 ilustra los formatos para la inspección de pavimentos asfálticos. La figura mostrada es ilustrativa y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente.

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA.**

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO				ESQUEMA		
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO				
CÓDIGO VÍA	ABSCISA FINAL	ÁREA MUESTREO (m ²)				
INSPECCIONADA POR			FECHA			
No.	Daño	No.	Daño			
1	Piel de cocodrilo.	11	Parcheo.			
2	Exudación.	12	Pulimento de agregados.			
3	Agrietamiento en bloque.	13	Huecos.			
4	Abultamientos y hundimientos.	14	Cruce de vía férrea.			
5	Corrugación.	15	Ahuellamiento.			
6	Depresión.	16	Desplazamiento.			
7	Grieta de borde.	17	Grieta parabólica (slippage)			
8	Grieta de reflexión de junta.	18	Hinchamiento.			
9	Desnivel carril / berma.	19	Desprendimiento de agregados.			
10	Grietas long y transversal.					
Daño	Severidad	Cantidades parciales		Total	Densidad (%)	Valor deducido

Figura 9: Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica

4.2 Unidades de Muestreo

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

- Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 230.0 ± 93.0 m². En la Tabla 20 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 20: Relaciones longitud – ancho para unidades de muestreo.

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

- Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Pórtland y losas con longitud inferior a 7.60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas.

Se recomienda tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos. Para cada pavimento inspeccionado se sugiere la elaboración de esquemas que muestren el tamaño y la localización de las unidades ya que servirá para referencia futura.

4.3 Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación

En la “Evaluación De Una Red” vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 16, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Ecuación 16

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (s) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25). En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$), ***todas las unidades deberán evaluarse.***

4.4 Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

a. El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la Ecuación 17:

$$i = \frac{N}{n}$$

Ecuación 17

Donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i : Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3)

b. El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i .

Así, si $i = 3$, la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc.

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc.

Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para carteles de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas.

4.5 Selección de Unidades de Muestreo Adicionales

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez

(por ejemplo, “*cruce de línea férrea*”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

4.6 Evaluación de la condición

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este manual para obtener un valor del PCI confiable.

Ver catálogo de deterioros en el Anexo 1.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

a. Equipo.

- Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
- Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

b. Procedimiento.

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida de los daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la

condición” para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

c. El equipo de inspección

Deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

4.7 Cálculo del PCI de las unidades de muestreo

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “*Valores Deducidos*” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

Cálculo para Carreteras con Capa de Rodadura Asfáltica

Etapas 1. Cálculo de los Valores Deducidos

1. a. Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna TOTAL del formato PCI-01. El daño puede medirse en área, longitud ó por número según su tipo.

1. b. Divida la CANTIDAD de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el ÁREA TOTAL de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje. Esta es la DENSIDAD del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

1. c. Determine el VALOR DEDUCIDO para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “*Valor Deducido del Daño*” que se adjuntan al final de este documento, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

Etapa 2. Cálculo del *Número Máximo Admisible de Valores Deducidos* (m)

2. a. Si ninguno ó tan sólo uno de los “Valores Deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV, obtenido en la *Etapa 4*. De lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b. y 2.c.

2. b. Liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.

2. c. Determine el “*Número Máximo Admisible de Valores Deducidos*” (m), utilizando la Ecuación 18:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$$

Ecuación 18

Donde:

m_i : Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo i .

HDV_i : El *mayor valor deducido individual* para la unidad de muestreo i .

2. d. El número de valores individuales deducidos se reduce a m , inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que m se utilizan todos los que se tengan.

Etapa 3. Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV.

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

- 3. a.** Determine el número de valores deducidos, q , mayores que 2.0.
- 3. b.** Determine el “Valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales.
- 3. c.** Determine el CDV con q y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- 3. d.** Reduzca a 2.0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repita las etapas 3.a. a 3.c. hasta que q sea igual a 1.
- 3. e.** El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.
- Etap 4.** Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en la Etapa 3.

PAVEMENT CONDITION INDEX
FORMATO PARA LA OBTENCIÓN DEL MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO

No.	Valores Deducidos										Total	q	CDV
1													
2													
3													
4													

Figura 10: Formato para las iteraciones del cálculo del CDV

4.8 Cálculo del PCI de una sección de pavimento.

Una sección de pavimento abarca varias unidades de muestreo. Si todas las unidades de muestreo son inventariadas, el PCI de la sección será el promedio de los PCI calculados en las unidades de muestreo.

Si se utilizó la técnica del muestreo, se emplea otro procedimiento. Si la selección de las unidades de muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática o con base en la representatividad de la sección, el PCI será el promedio de los PCI de las unidades de muestreo inspeccionadas. Si se usaron unidades de muestreo adicionales se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

$$PCI_S = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N}$$

Ecuación 19

Donde:

PCIS: PCI de la sección del pavimento.

PCIR: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCIA: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección.

A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

4.9 Ejemplo de determinación de PCI

4.9.1 Descripción del tramo de estudio

Para el siguiente ejemplo se propone calcular el PCI para una ruta ubicada en la zona de conservación 2-1, localizada en la provincia de Guanacaste. Esta zona cuenta un área de aproximadamente de 3120 km² y una longitud de red vial (red vial pavimentada) de 258,9 km. En la Figura 11 se muestra la zona y la red vial pavimentada que lo compone.

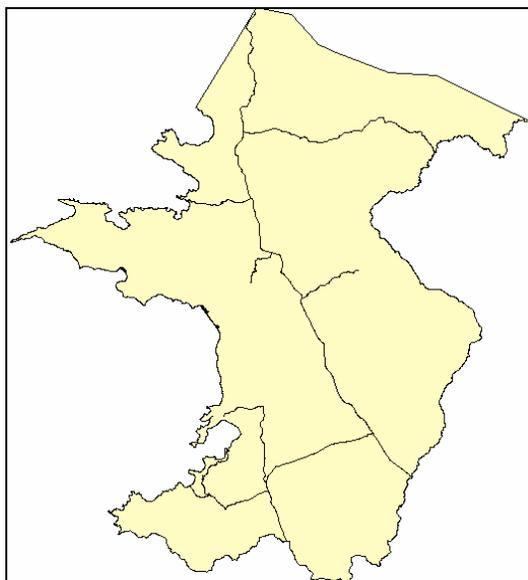


Figura 11: Zona de Conservación Vial 2-1 y su respectiva red vial pavimentada.

El cálculo del PCI se deberá hacer para cada tramo homogéneo. En este caso en particular, se escoge la ruta 1 ubicada en esta zona, la cual tiene una longitud de 102,6 km y se compone de las secciones de control mostradas en la Figura 12.

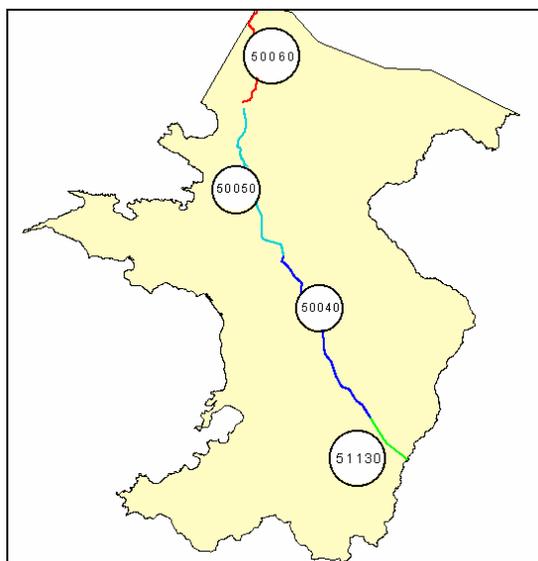


Figura 12: Ruta 1 en Zona 2-1 y las secciones de control que lo componen.

Al realizar el estudio de tramos homogéneos mediante la metodología propuesta en la guía de diseño AASTHO93, se obtuvieron 4 tramos, que se describen en la Tabla 21 y se muestran en la Figura 13 con su respectiva ubicación.

Tabla 21: Tramos homogéneos obtenidos.

Tramo	Sección de Control	Valor de IRI promedio	Clasificación IRI	Longitud (km)
1	50060(0+000-17+800)	2.64	Regular	17.8
2	50060, 50050, 50040 (0+000-1+300)	3.41	Regular	28.0
3	50040 (1+300-24+500)	2.49	Regular	23.2
4	50040(24+500-30+100), 511130	3.64	Mala	24.6

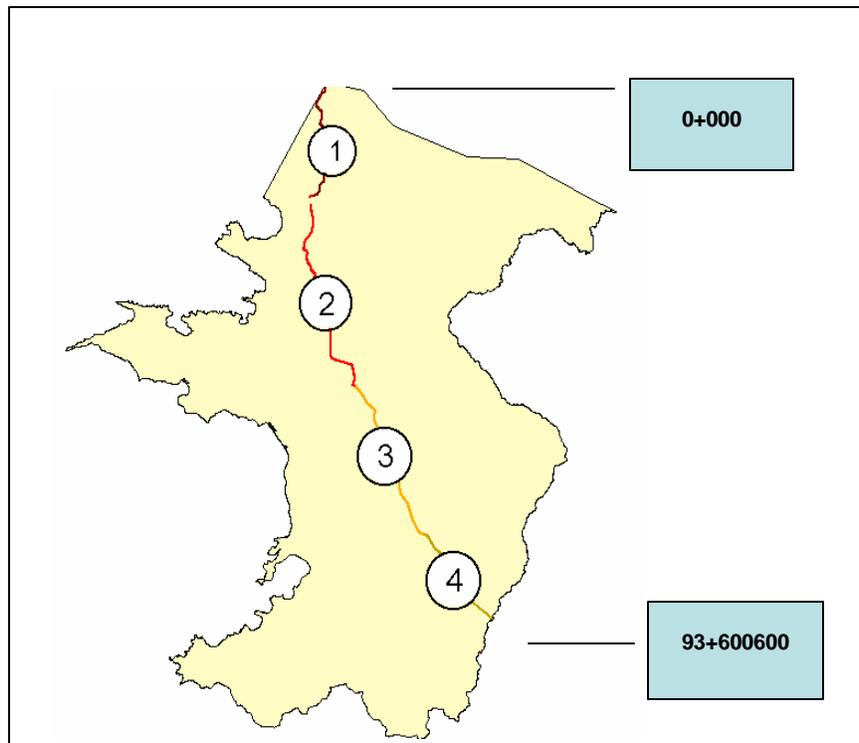


Figura 13: Determinación de Tramos Homogéneos.

Se tomará para el ejemplo el tramo homogéneo No.4; en la Figura 13, se muestra la ubicación del tramo en la zona 2-1.

Tabla 22: Tramo homogéneo ejemplo.

Zona de Conservación	2-1
Provincia	Guanacaste
Sección de Control	50040(24+500-30+100), 511130
Tramo Homogéneo	2,3 y 4
Longitud de Sección	24,6 km

4.9.2 Unidades de Muestreo

Se procede a dividir la sección 50040 en unidades de muestreo, de acuerdo a la Norma ASTM 6433, la cual propone el uso de unidades de aproximadamente 32m de longitud para vías de 7,3 m de ancho.

Por lo tanto, se muestra en la Tabla 23 las características de interés del tramo ejemplo.

Tabla 23: Tramo homogéneo ejemplo.

Longitud del Tramo Homogéneo	24 600 m
Longitud propuesta para la Unidad	32 m
Unidades de Muestreo	769

4.9.3 Determinación de Unidades de Muestreo para Evaluación

Se utiliza la Ecuación 20 con los siguientes valores $-s$ y e recomendados por la "Norma"-.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Ecuación 20

Donde:

N: 769

s: 10 (para iniciar)

e: 5 puntos de PCI

n: 16

⇒ Se obtiene que se debe evaluar 16 unidades
(de 32 m de longitud cada uno).

4.9.4 4. Selección de las Unidades de Muestreo

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Se utiliza la Ecuación 21:

Ecuación 20

$$i = \frac{N}{n}$$

Ecuación 21

Donde:

N: 769

n: 16

i: 48

Se debe seccionara un número entre 1 e *i* al azar: $S=5$

Las unidades a evaluar se determinan utilizando una serie de la siguiente forma $S, S+i, S+2i, \dots, S+ni$:

$5, 5+48, 5+96, \dots, 5+n \cdot 48$



5, 53, 101, 149, 197, 245, 293, 341, 389, 437, 485, 533, 581, 629, 677, 725

4.9.5 Evaluación de las Unidades Seleccionadas

****evaluación en sitio

4.9.6 Cálculo del PCI

Para el cálculo de PCI utilizará la evaluación visual obtenida de la unidad de muestreo número 5.

4.9.6.1 Cálculo de los valores deducidos

- a. Se totaliza cada tipo de deterioro y su severidad, es importante separar el mismo daño que se clasifique con diferente severidad. El daño se puede medir en área, longitud o número según su tipo. Se muestran los resultados obtenidos en la Tabla 24.

Tabla 24: Resumen Datos de Evaluación Visual para Unidad de Muestreo 5

Tipo de Deterioro (1)	Forma de medir el Deterioro	Severidad	Descripción	Total (m2)
3	Área	Alta	Sección dañada de 8m de largo x 4m de ancho	32
11	Área	Baja	Sección dañada de 4m de largo x 3.75m de ancho	15
11	Área	Media	Sección dañada de 2m de largo x 4m de ancho y otra de 4m de largo x 4m de ancho	20
4	Long.	Media	2 hundimientos de 3 m de longitud cada uno	6

(1) ver clasificación de deterioros en Tabla 29

b. Se divide la cantidad de clase de daño, en cada nivel de severidad, entre área total de la unidad de muestreo y se expresa el resultado como porcentaje. Esto se conoce como la densidad de daño dentro de la unidad de muestreo, y se muestra en la Tabla 25.

c. Se procede a determinar el VALOR DEDUCIDO para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas “Valor Deducido del Daño”***. En la Tabla 25 se observan los valores obtenidos.

Tabla 25: Valores de Densidad y Valores Deducidos

<u>Tabla Resumen Valores Deducidos</u>							
						Ancho	7.3 m
						Largo	32.0 m
						Area Total	240
Tipo de Deterioro	Forma de Medir el Deterioro	Severidad	Descripción	Total	Densidad (%)	Valor Deducido	
3	Área	Media	Sección dañada de 8m de largo x 4m de ancho	32	0.13	30	
11	Área	Baja	Sección dañada de 4m de largo x 3.75m de ancho	15	0.06	11	
11	Área	Media	Sección dañada de 2m de largo x 4m de ancho y otra de 4m de largo x 4m de ancho	20	0.08	28	
4	Long.	Media	2 hundimientos de 3 m de longitud cada uno	6	0.03	22	

(1) ver clasificación de deterioros en Tabla 29

*** Uso de las curvas de Valores Deducidos

La Figura 14 muestra la gráfica de Valores Deducidos para el deterioro 3, Agrietamiento en Bloque. El eje x se define como la densidad del deterioro y el eje y se define como los valores deducidos, además las tres curvas son las diferentes severidades de deterioro (H – alta, M-media y L-Baja).

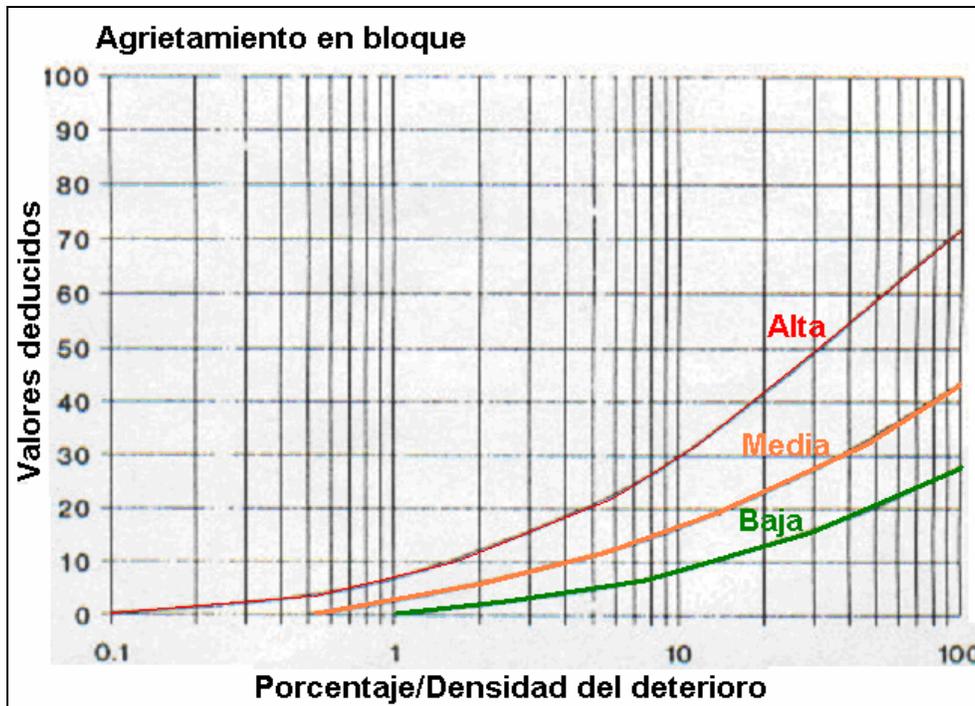


Figura 14: Gráfico de Valores Deducidos (Deterioro 3, Agrietamiento en Bloque)

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Paso 1. Conociendo la Densidad de Deterioro y la Severidad del mismo se puede entrar y localizar un punto en la gráfica como se muestra en la Figura 15.

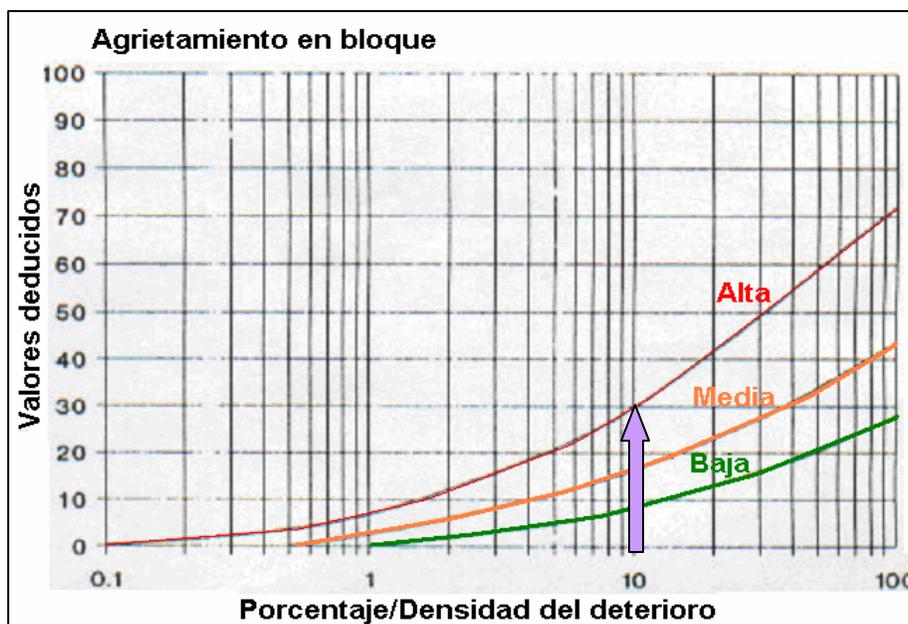


Figura 15. Paso 1 en la Determinación de Valor Deducido

Paso 2. Una vez encontrado el punto se procede a extenderlo horizontalmente hasta encontrar el valor deseado. Para este caso igual a 30 (valor en cuadro rojo), como se muestra en la Figura 16.

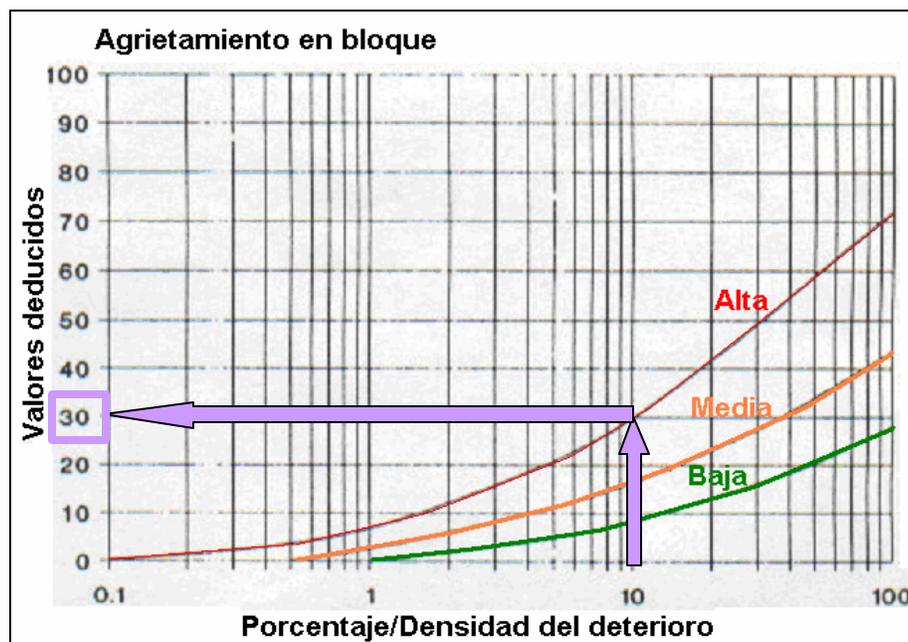


Figura 16. Paso 2 en la Determinación de Valor Deducido

4.9.6.2 Cálculo de Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)

- a. Si ninguno los Valores Deducidos de ó tan solo uno es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV, obtenido en el apartado 6.4. En este caso se debe seguir los pasos b. y c. debido a que todos los valores deducidos son mayores a dos.
- b. Se procede a colocar los Valores Deducidos de Mayor a Menor, como se muestra a continuación:

30	28	22	11
----	----	----	----

- c. Se determina el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” (m) utilizando la siguiente ecuación.

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$$

Ecuación 22

$$\text{HDV (mayor valor deducido encontrado)} = 30$$

$$\text{M (\# máximo admisible de valores deducidos)} = 7.4$$

7*

*Se redondea a la unidad menor y se conserva el residuo, en este caso 0.4.

- d. El número de Valores Deducidos se reducen a m , inclusive la parte fraccionaria. Si se tienen menos Valores Deducidos que m se utilizan todos los existentes. Para este caso como 4 es menor que $m = 7$, se utilizarán todos los Valores Deducidos.

4.9.6.3 Cálculo del Máximo Valor Deducido Corregido, CDV

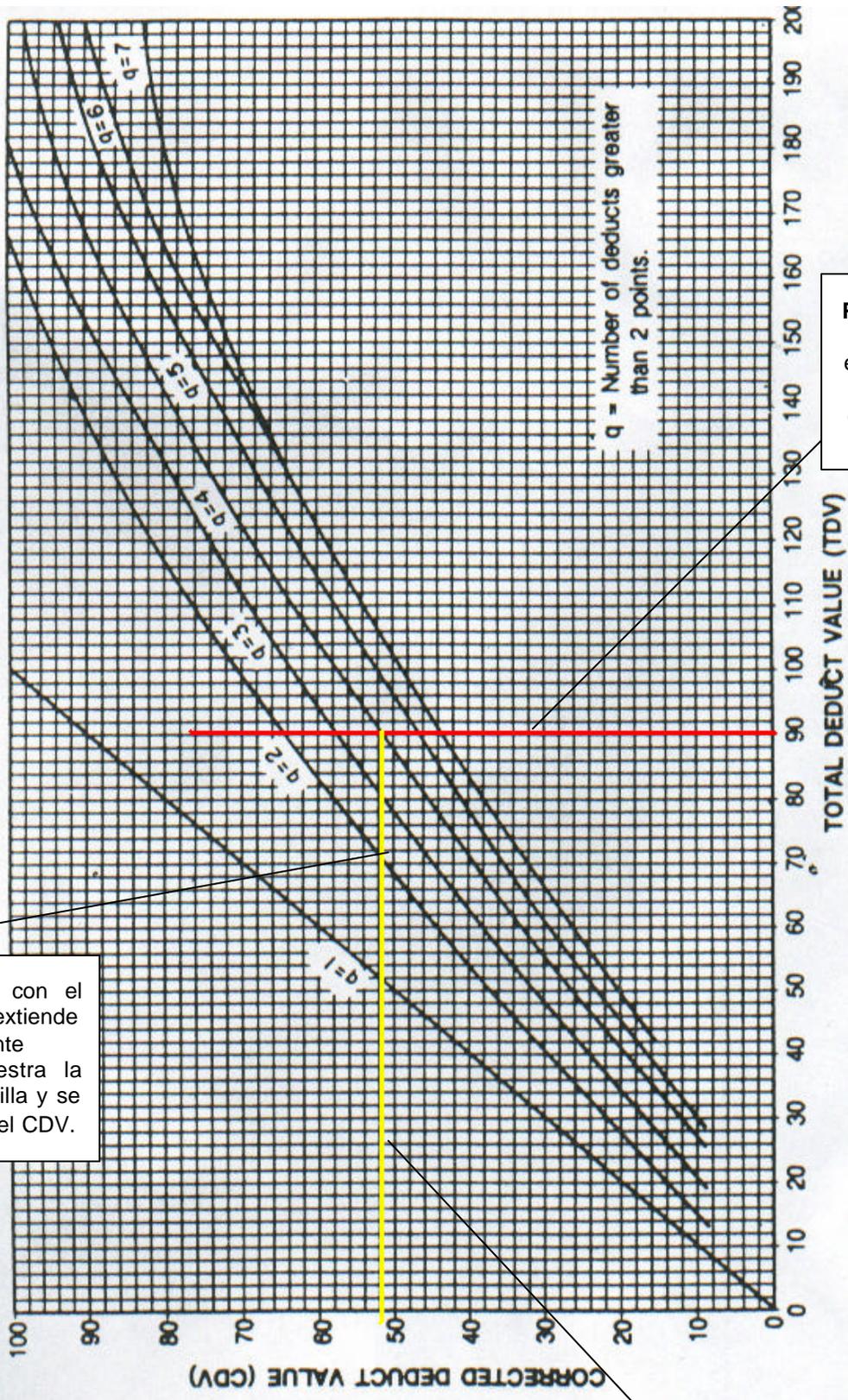
El máximo CDV se determina siguiendo proceso iterativo

- a. Determinar el número de Valores Deducidos, q , mayores que 2 (En este ejemplo todos los Valores Deducidos son mayores a 2, por lo tanto $q = 4$).
- b. Se termina el Valor Deducido Total sumando TODOS los valores deducidos individuales. (Se muestra la suma para el primer Valor Deducido).

No.	Valores Deducidos				Total
1	30	28	22	11	91

- c. Se determina el CDV (Valor de Deducción Corregido) con el valor de q (Valor Deducido) y "Valor Deducido Total" en la curva de corrección pertinente a cada tipo de pavimento. A continuación se muestra el procedimiento a seguir.

ROADS AND PARKING LOTS: ASPHALT



Primero con el Valor Deducido Total, se extiende la línea roja hasta el q correspondiente; en este caso q=4.

Segundo, con el punto se extiende verticalmente como muestra la línea amarilla y se encuentra el CDV.

CDV = 52

Figura 17. Determinación del Valor de deducción corregido

d. Se reduce a 2 el menor de los Valores Deducidos individuales que sea mayor que 2 (en este caso 11 se convierte en 2), y se repite los paso 2 y 3 hasta que $q = 1$. A continuación se muestra el ejemplo en la Tabla 26 con todos los CDV.

Tabla 26: Valores de CDV

No.	Valores Deducidos				Total	q	CDV
1	30	28	22	11	91	4	52
2	30	28	22	2	82	3	55
3	30	28	2	2	62	2	48
4	30	2	2	2	36	1	36

e. El PCI de la muestra se obtiene restando a 100 el máximo CDV.

$$PCI = 100 - \max CDV$$

Ecuación 23

$$PCI = 100 - 55 = 45$$

4.9.6.4 Cálculo del PCI de una Sección de Pavimento

Suponiendo que para las 16 unidades muestreadas se obtuvieron los siguientes resultados, se procede con ellos a calcular el PCI de la sección en estudio, como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27: Cálculo del PCI

No.	Unidad	PCI
1	5	55
2	65	52
3	125	46
4	185	65
5	245	45
6	305	56
7	365	59
8	425	46
9	485	47
10	545	62
11	605	65
12	665	65
13	725	55
14	785	55
15	845	46
16	905	47
Promedio		54.13
Máximo		65.00
Mínimo		45.00

Utilizando la Ecuación 24 se tiene que:

$$PCI_s = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N}$$

Ecuación 24

Donde:

$$N = 16$$

$$A = 0$$

$$PCI_R = 54.13$$

$$PCI_A = 0$$

$$PCI_S = 54.13$$

Una vez obtenido un valor para el tramo homogéneo en estudio se procede a calificarlo cualitativamente utilizando la Tabla 28 que se muestra a continuación.

Tabla 28: Rangos de calificación del PCI

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

 El tramo en estudio se encuentra en un **estado regular**.

Tabla 29: Deterioros Propuestos por la Norma PCI

1 Piel de cocodrilo.	8 Grieta de reflexión de junta.	14 Cruce de vía férrea.
2 Exudación.	9 Desnivel carril / berma.	15 Ahuellamiento.
3 Agrietamiento en bloque.	10 Grietas long y transversal.	16 Desplazamiento.
4 Abultamientos y hundimientos.	11 Parcheo.	17 Grieta parabólica (slippage)
5 Corrugación.	12 Pulimento de agregados.	18 Hinchamiento.
6 Depresión.	13 Huecos.	19 Desprendimiento de agregados.
7 Grieta de borde.		

CAPÍTULO 5: CÁLCULO DE LOS INDICES DE REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI) Y SERVICIABILIDAD (PSI) PARA LA RED VIAL NACIONAL. VALORES DE IRI PARA COSTA RICA AÑO 2008

5.1 Descripción de la metodología aplicada

La metodología descrita en el capítulo 3 de este informe 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 utilizó 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 Figura 18), 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.

Además 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.

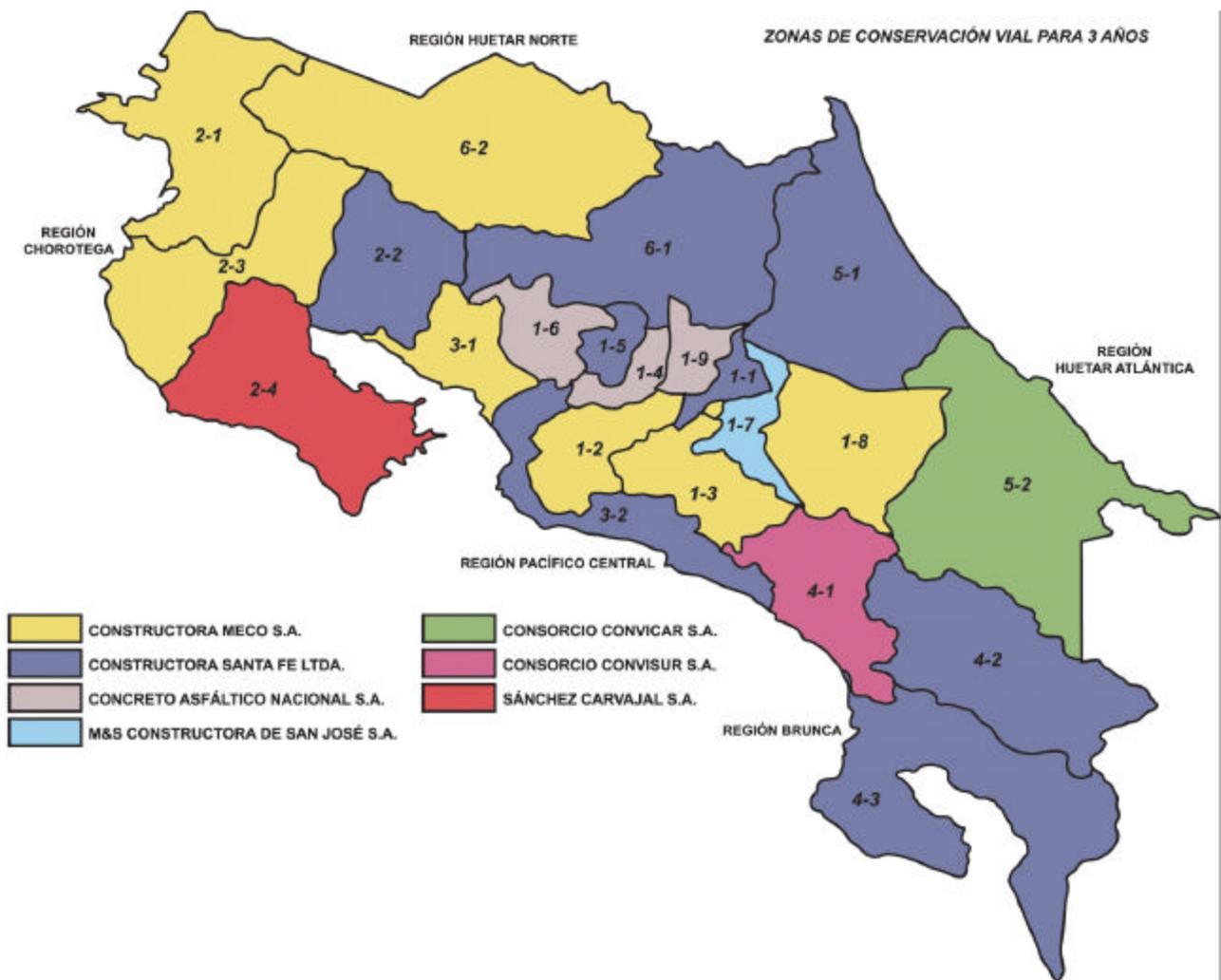


Figura 18: División del territorio nacional en las 22 zonas de Conservación Vial.

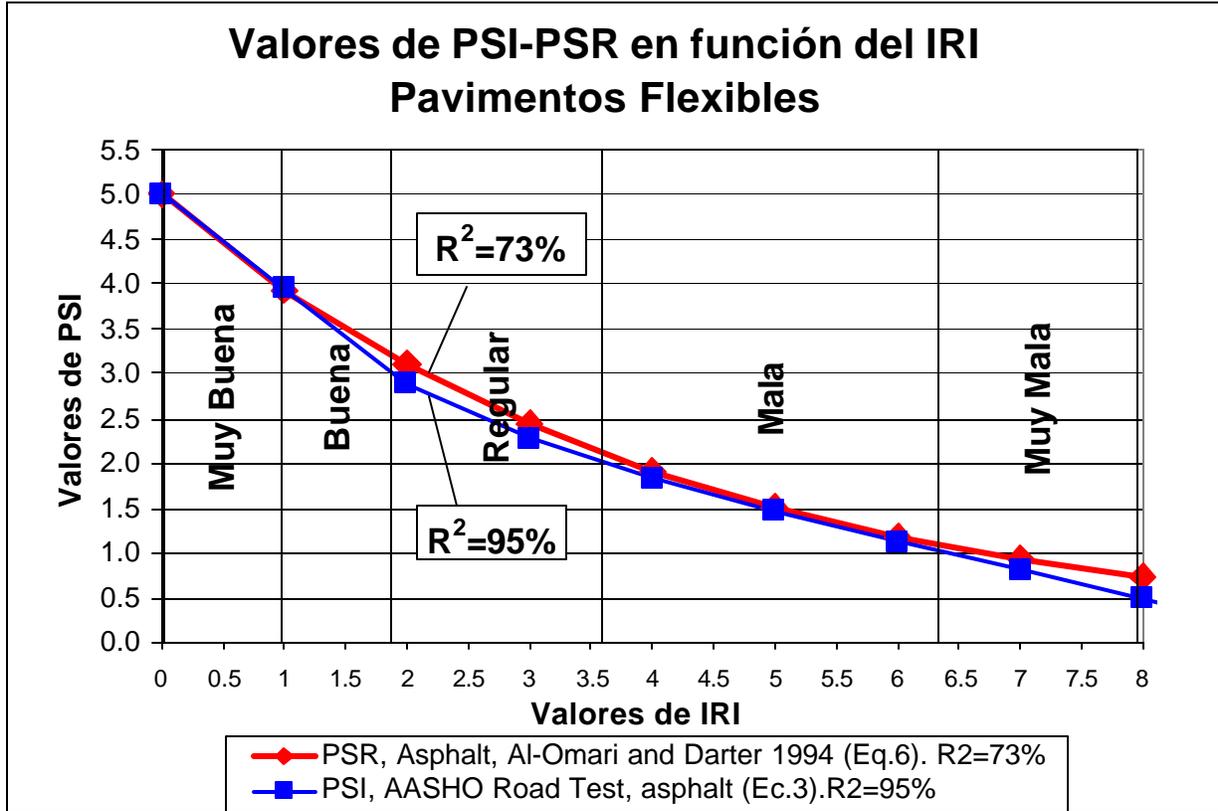
Tabla 30: División del territorio Nacional en las 22 zonas de Conservación Vial

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	Región 1, subregión Heredia	Heredia
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		

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, el detalle de este procedimiento se encuentra en el capítulo 2.

En el Gráfico 5 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 tipo semáforo.

Gráfico 5: Rangos de IRI para Pavimentos Flexibles. Modelo de correlación con PSI.



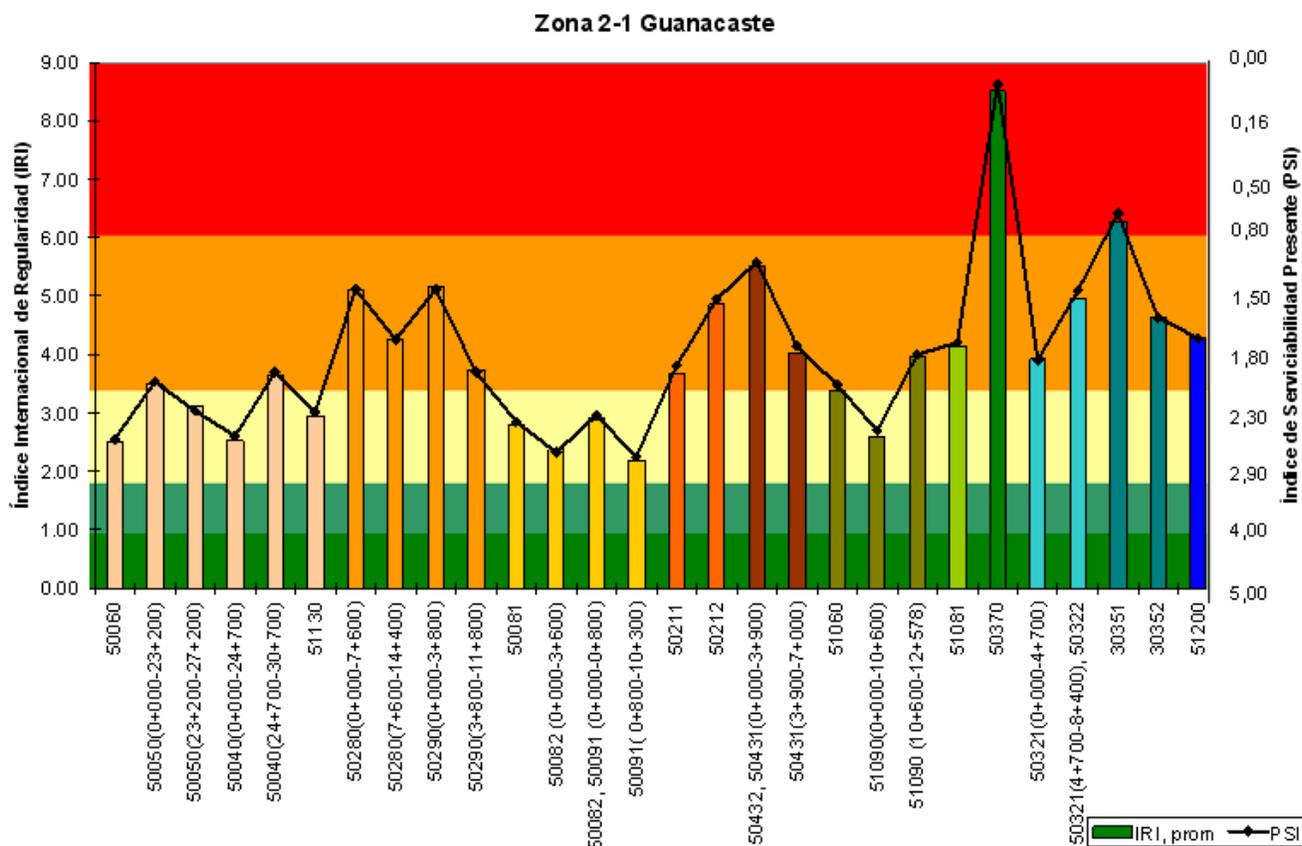
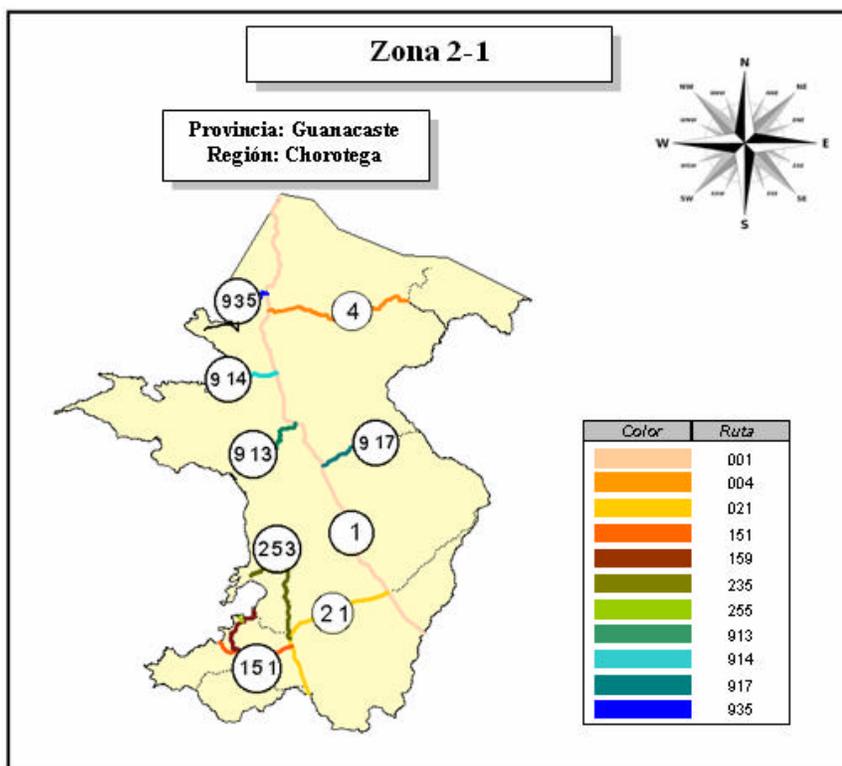
La correlación propuesta entre los valores de IRI y PSI debe ser sujeta a calibraciones posteriores, sin embargo, el conocimiento de los valores de PSI aproximados para los tramos homogéneos, resulta de suma importancia, ya que son muy buenos indicadores del nivel de servicio que las rutas están brindando 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 el capítulo 6 de este informe.

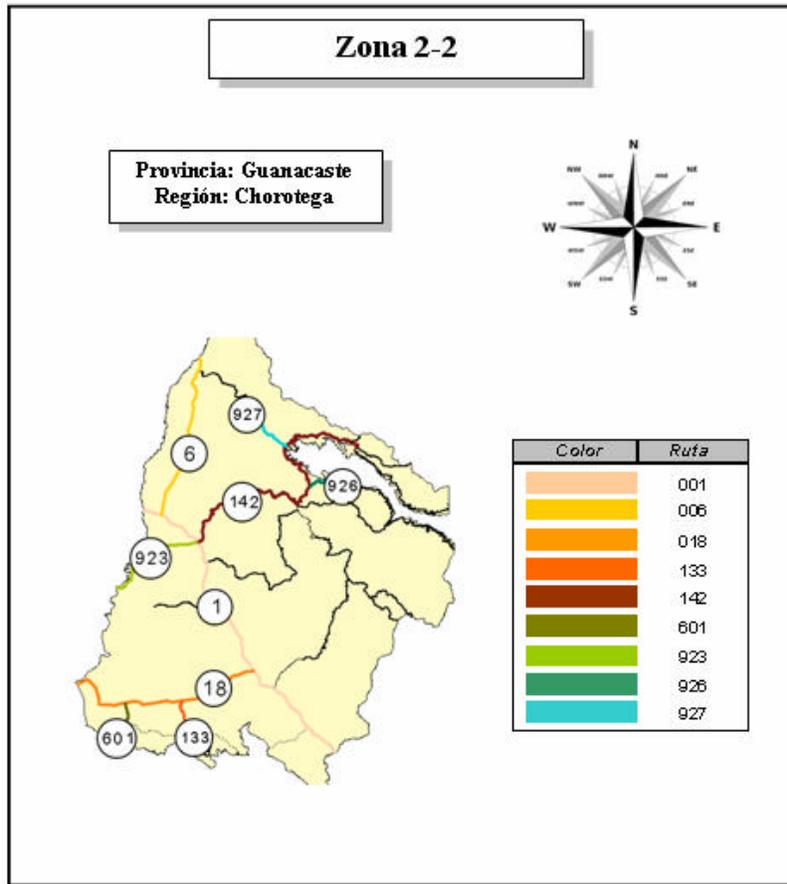
Cabe aclarar en este punto, que como parte del proceso de calibración en el cálculo de estos índices es necesario definir los modelos de deterioro para las rutas nacionales, de forma que se puedan establecer los valores de serviciabilidad inicial $PSI_{inicial}$ y de serviciabilidad final PSI_{final}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

variables: el tipo y la calidad de los pavimentos, condiciones climáticas, tipo de vehículos, materiales utilizados en la construcción, etc.

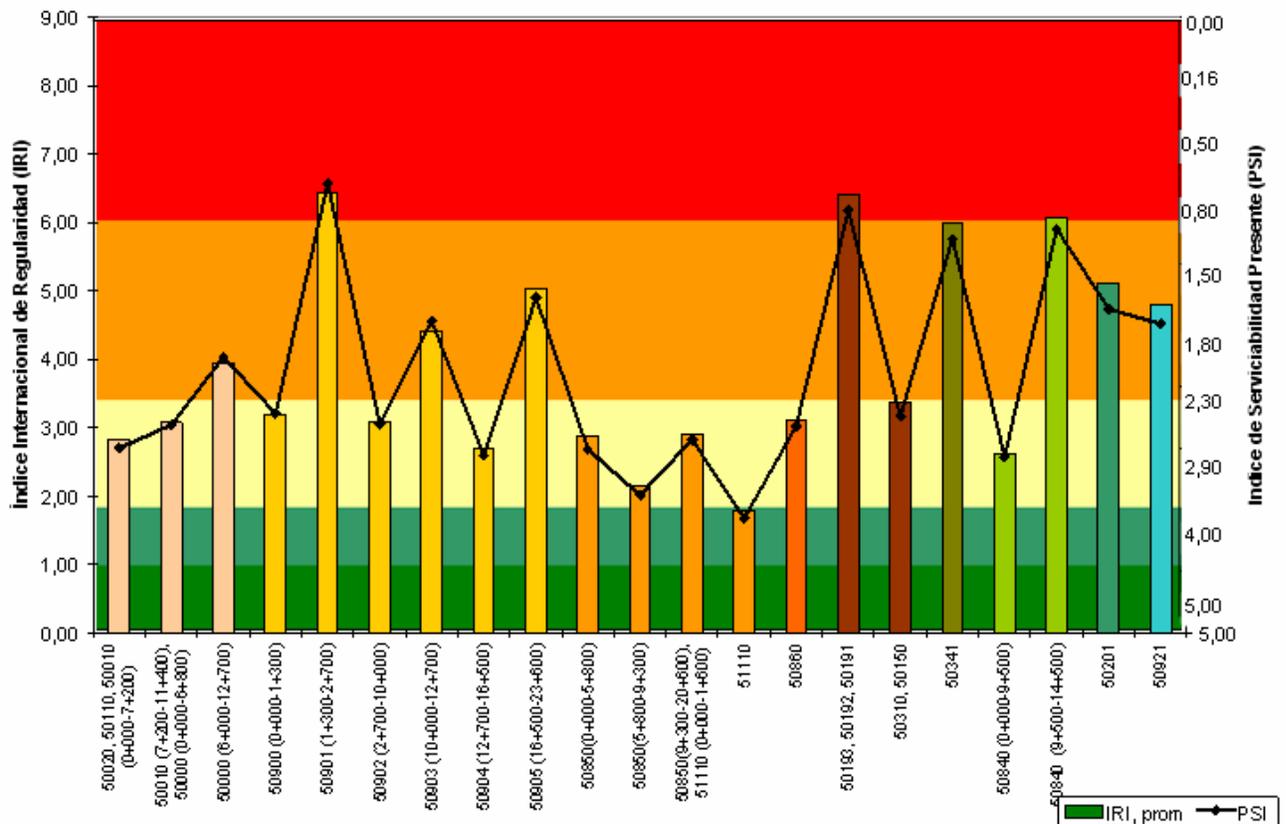
A continuación se presentan los distintos tramos homogéneos calculados, su ubicación dentro de la zona geográfica correspondiente, secciones de control de cada tramo, rutas y el correspondiente valor de PSI asociado al valor del IRI característico para cada tramo.

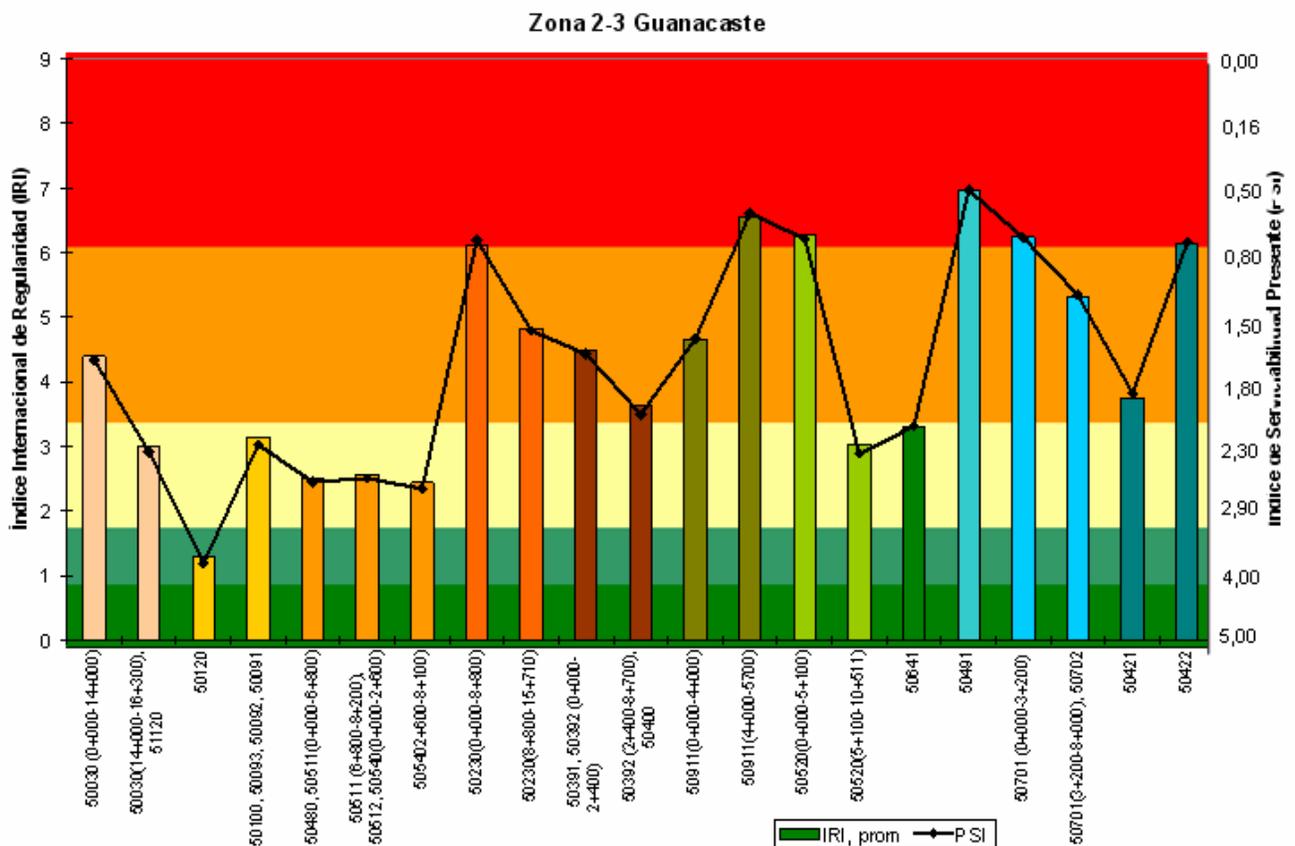
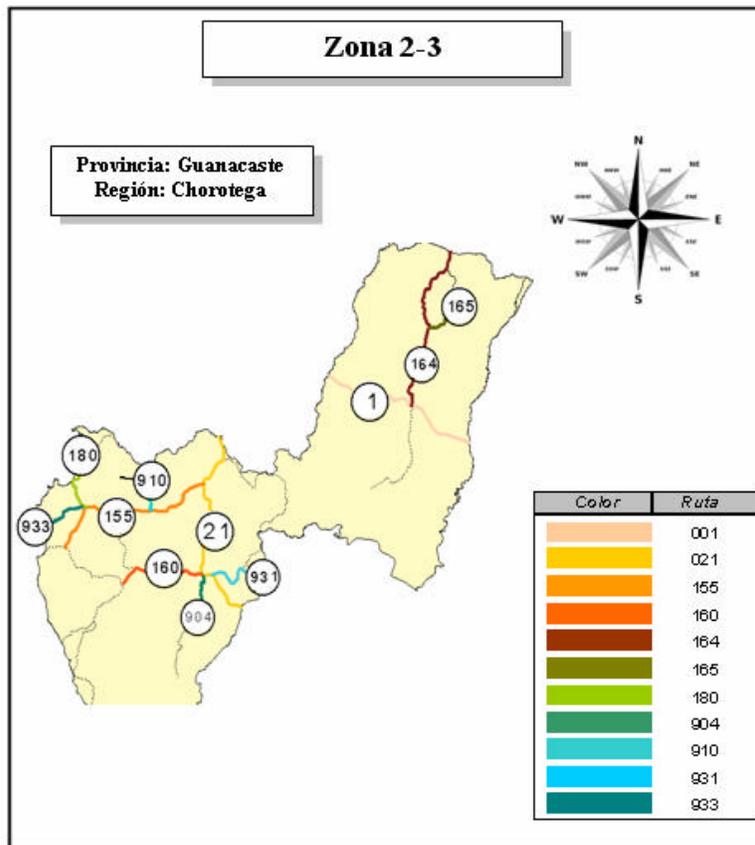
5.2 Determinación de los tramos homogéneos, valores de IRI y PSI para las rutas 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 4-2, 4-3, 5-1, 5-2, 6-1 y 6-2 de Conservación Vial, Costa Rica 2008.

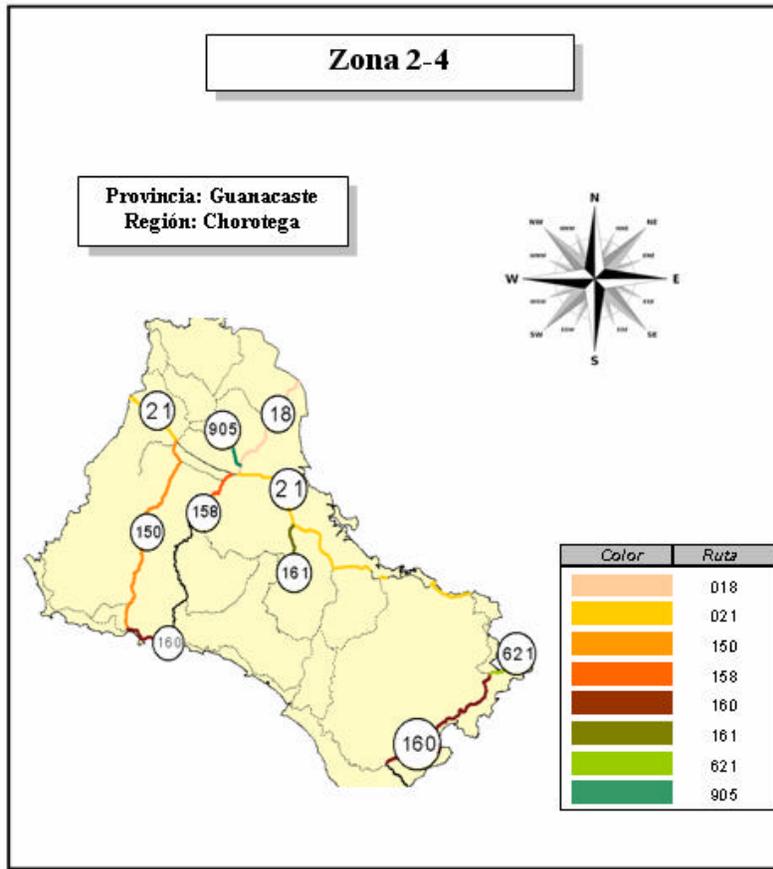




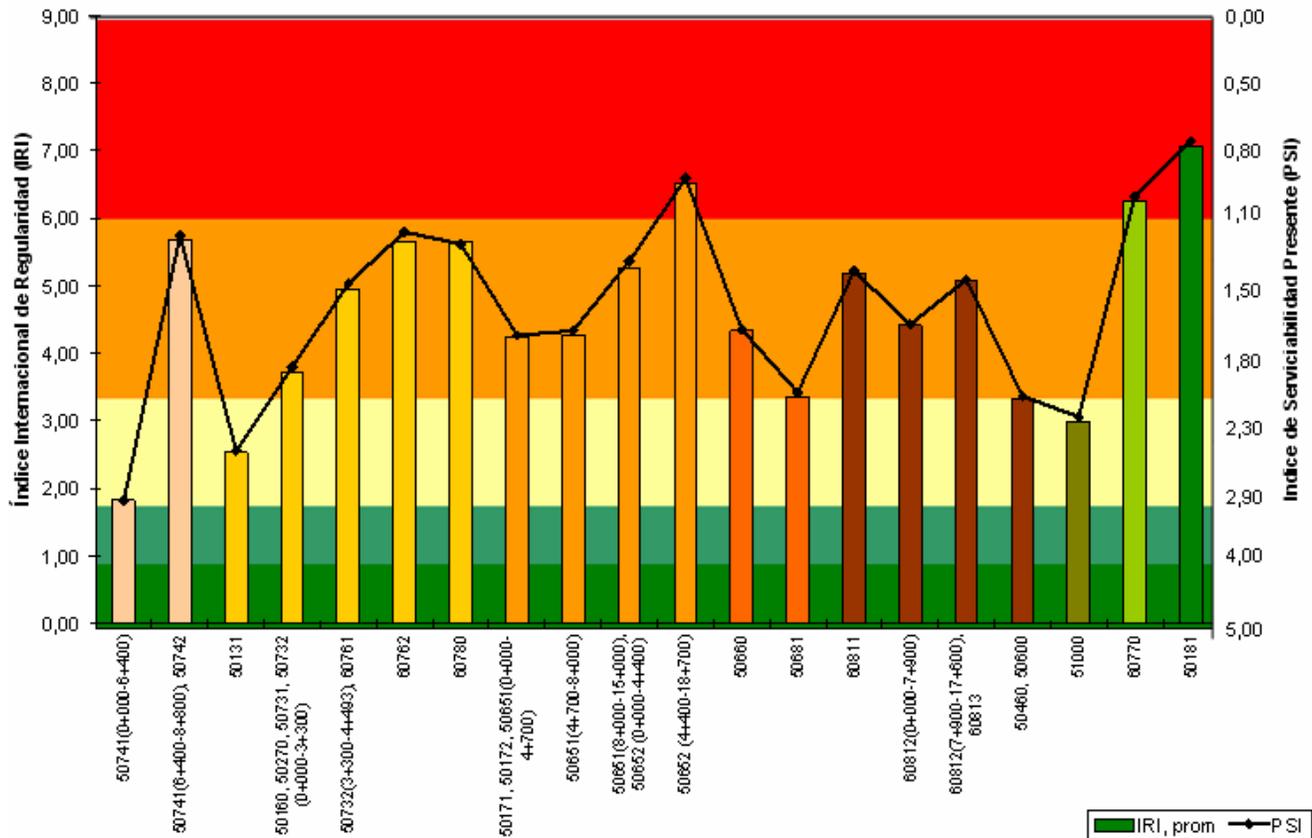
Zona 2-2 Guanacaste

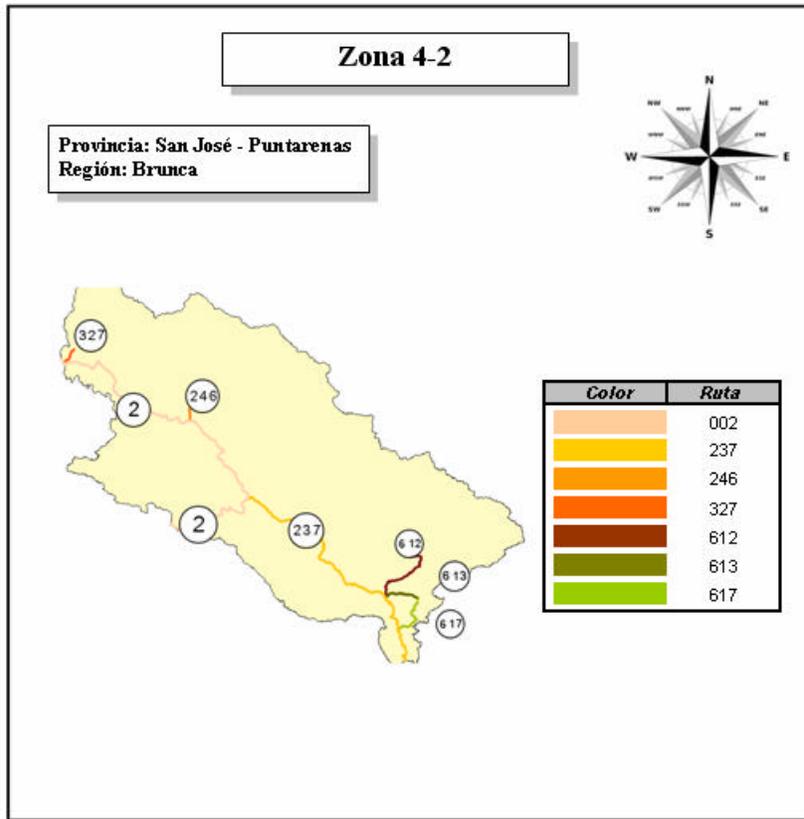




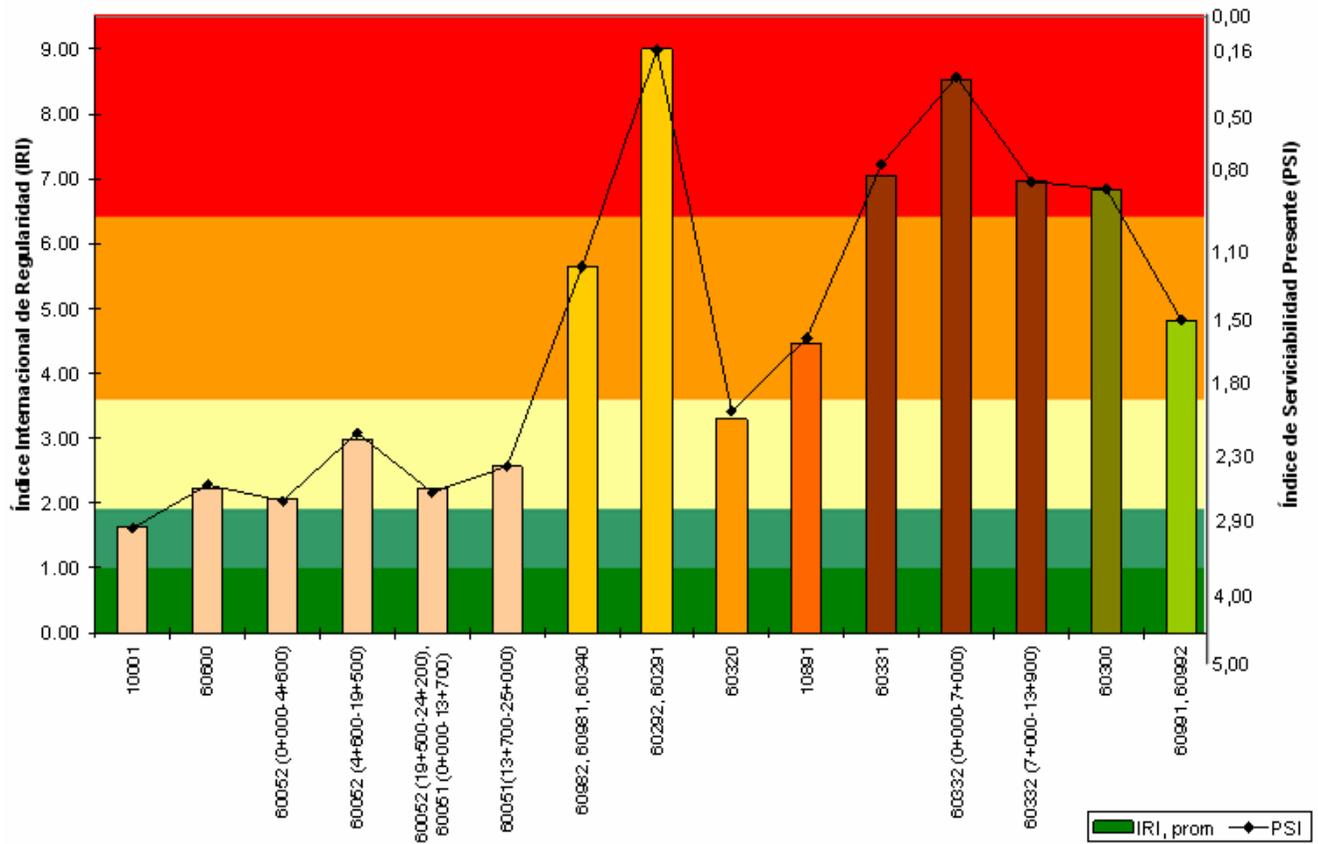


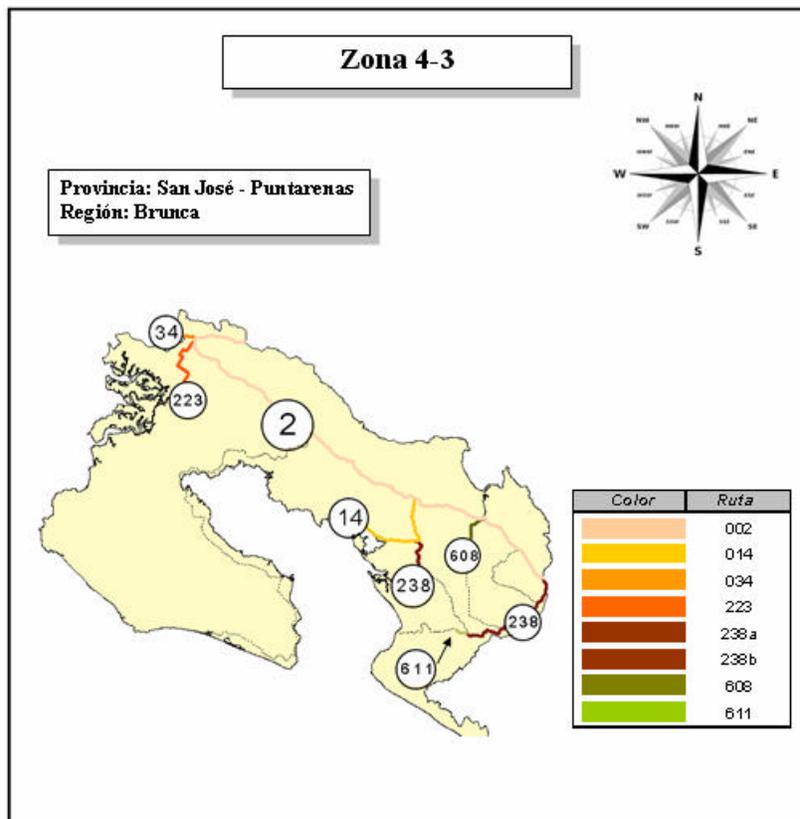
Zona 2-4. Guanacaste



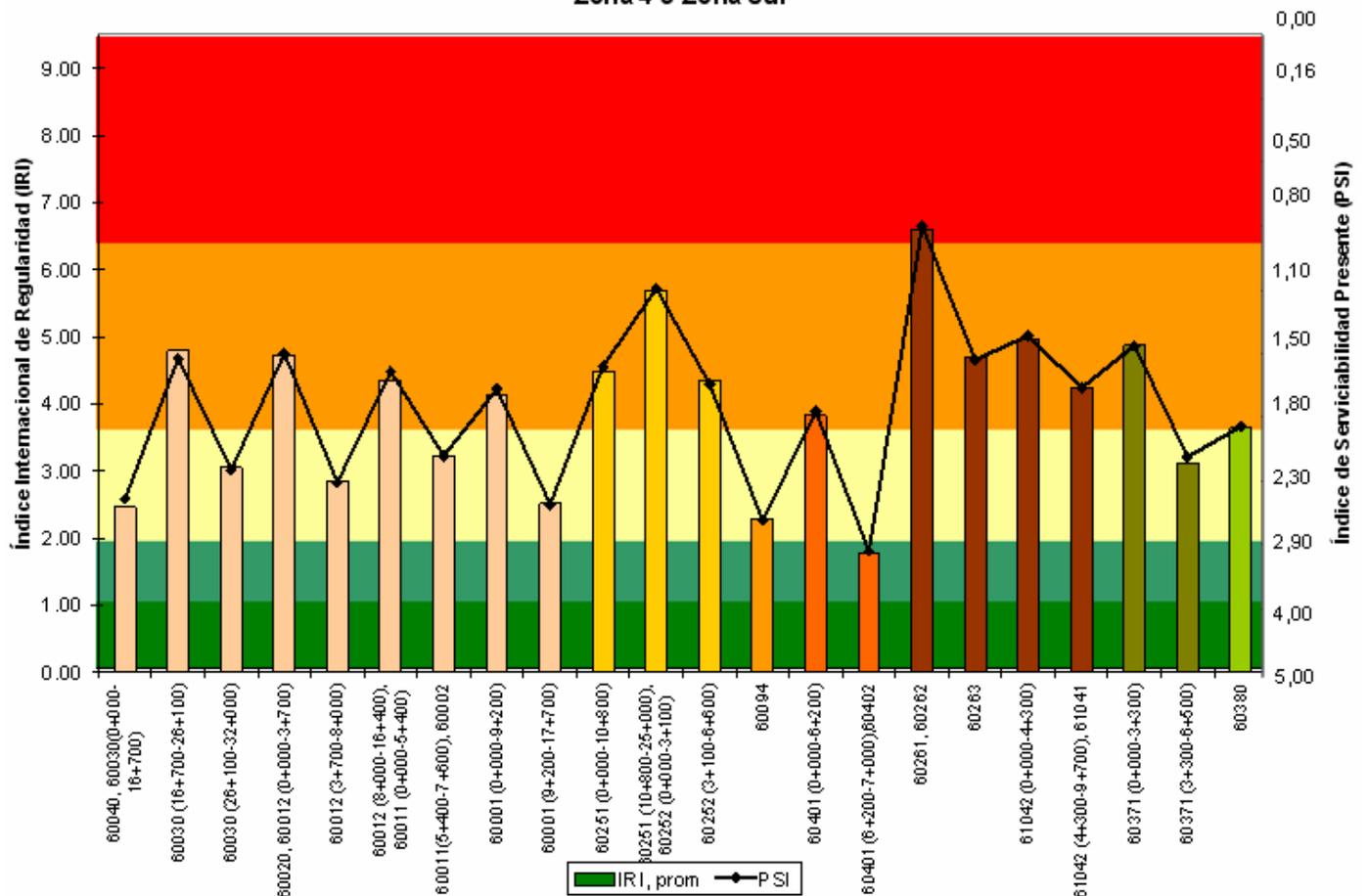


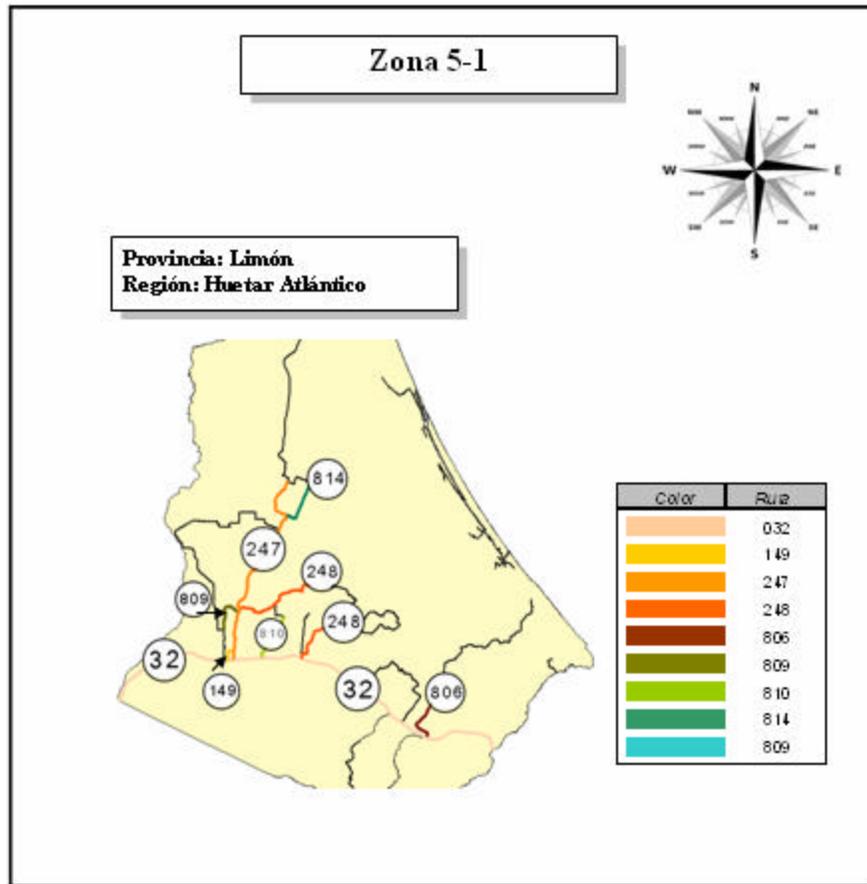
Zona 4-2 Zona Sur



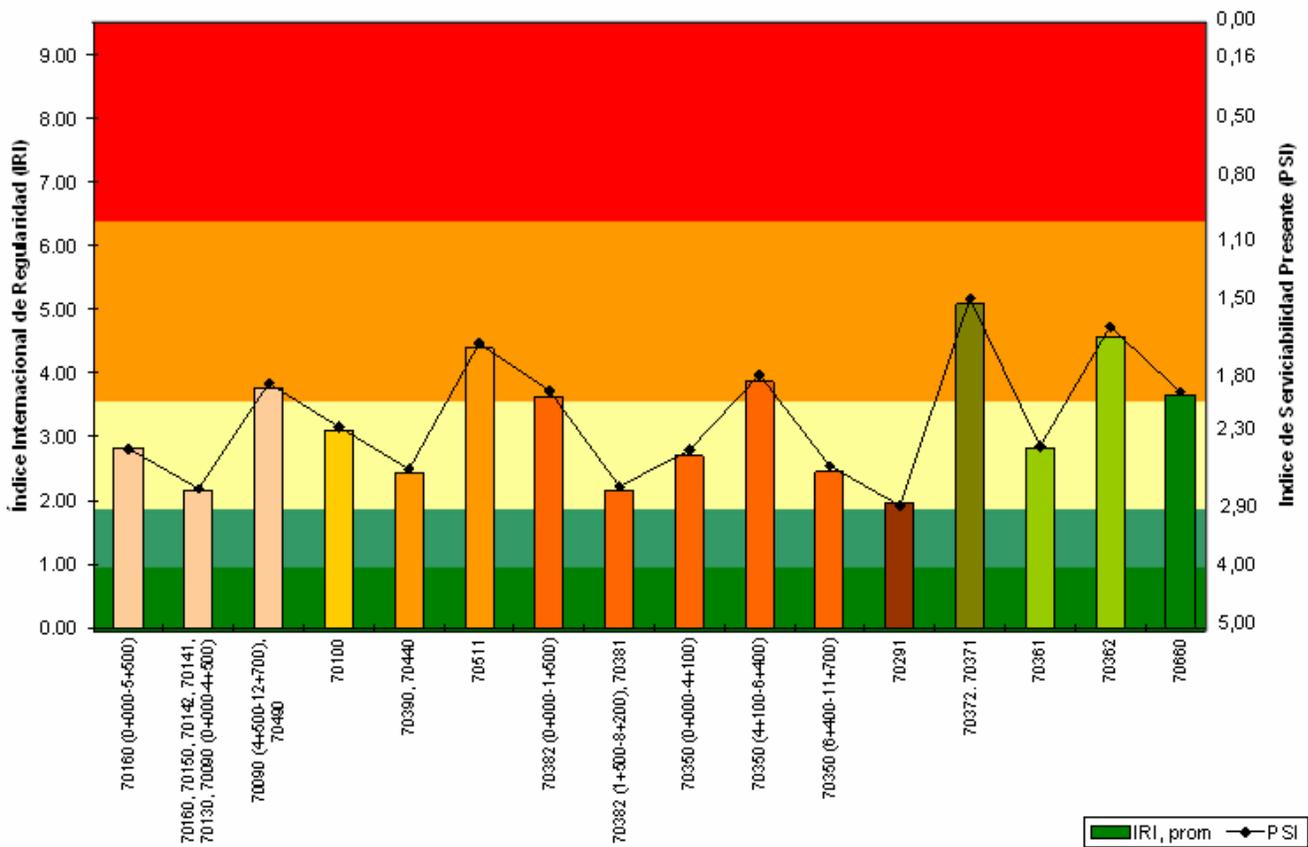


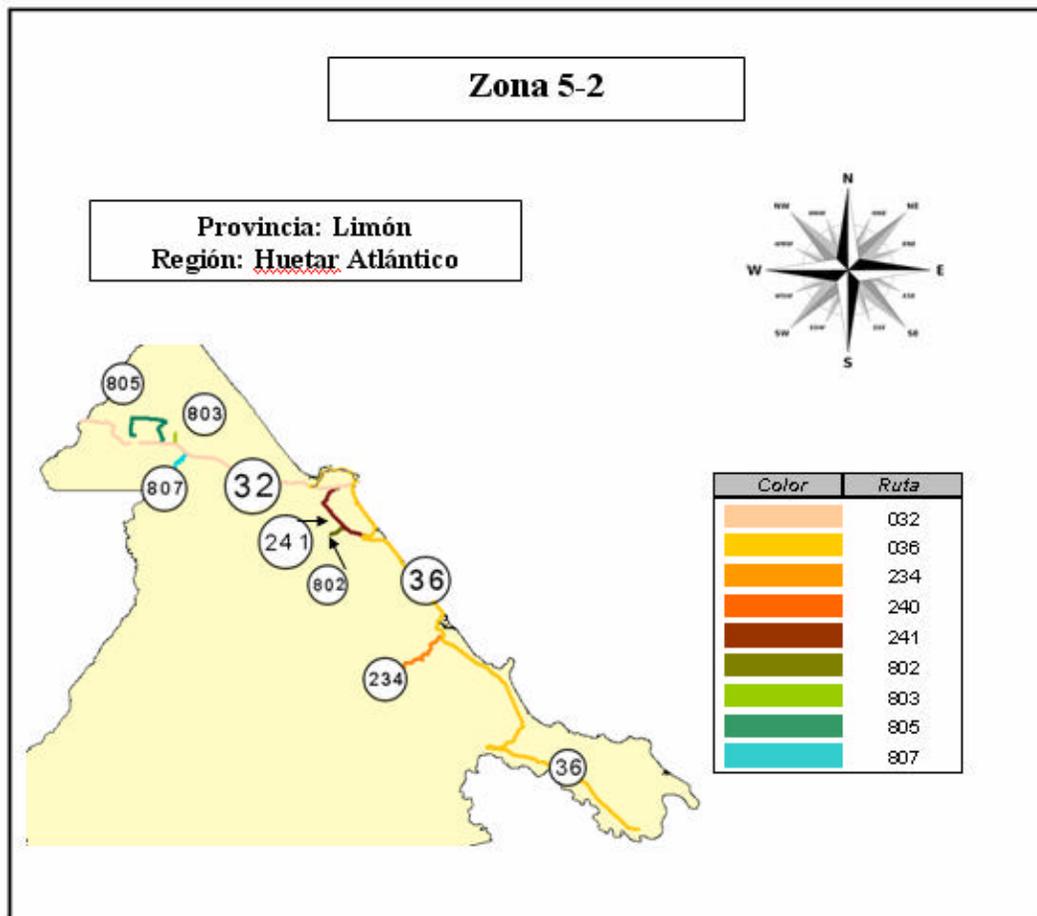
Zona 4-3 Zona Sur



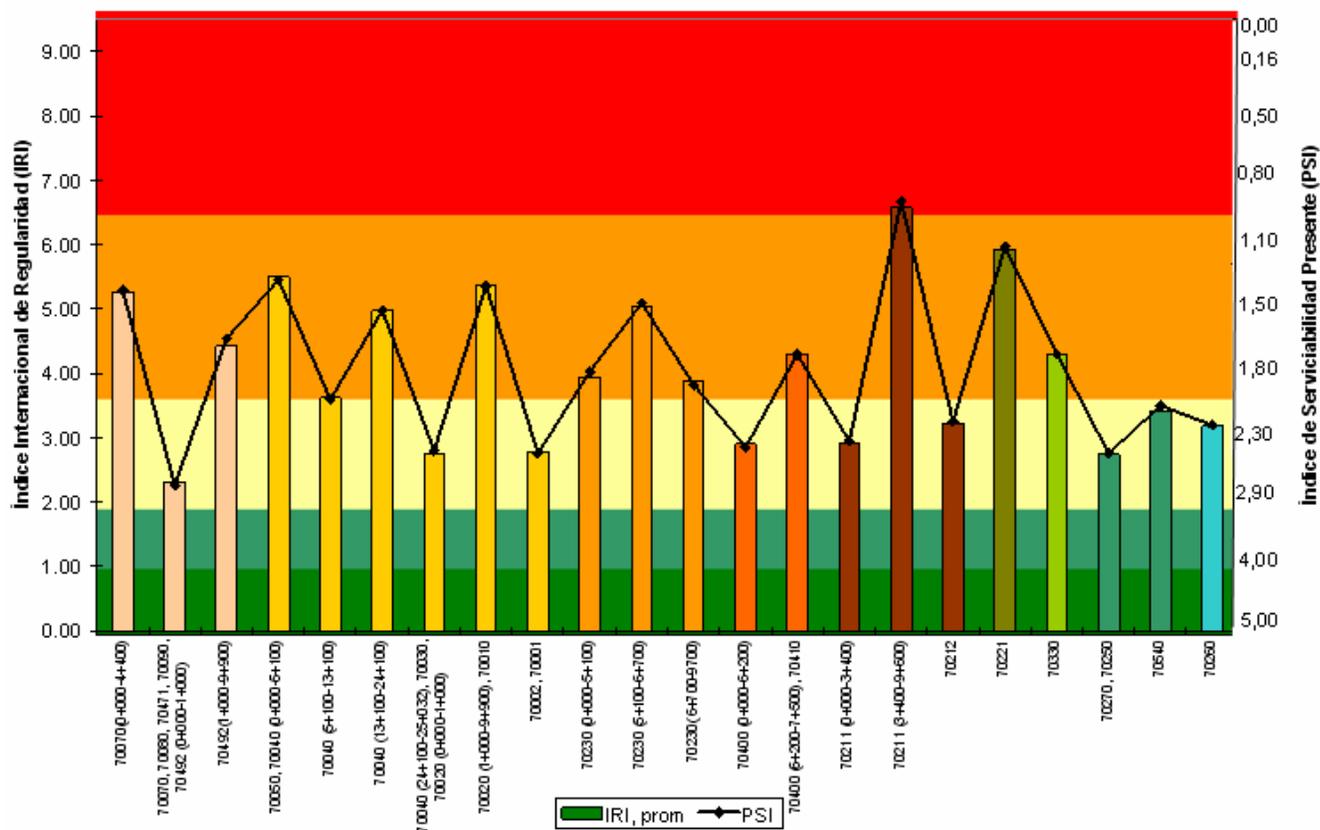


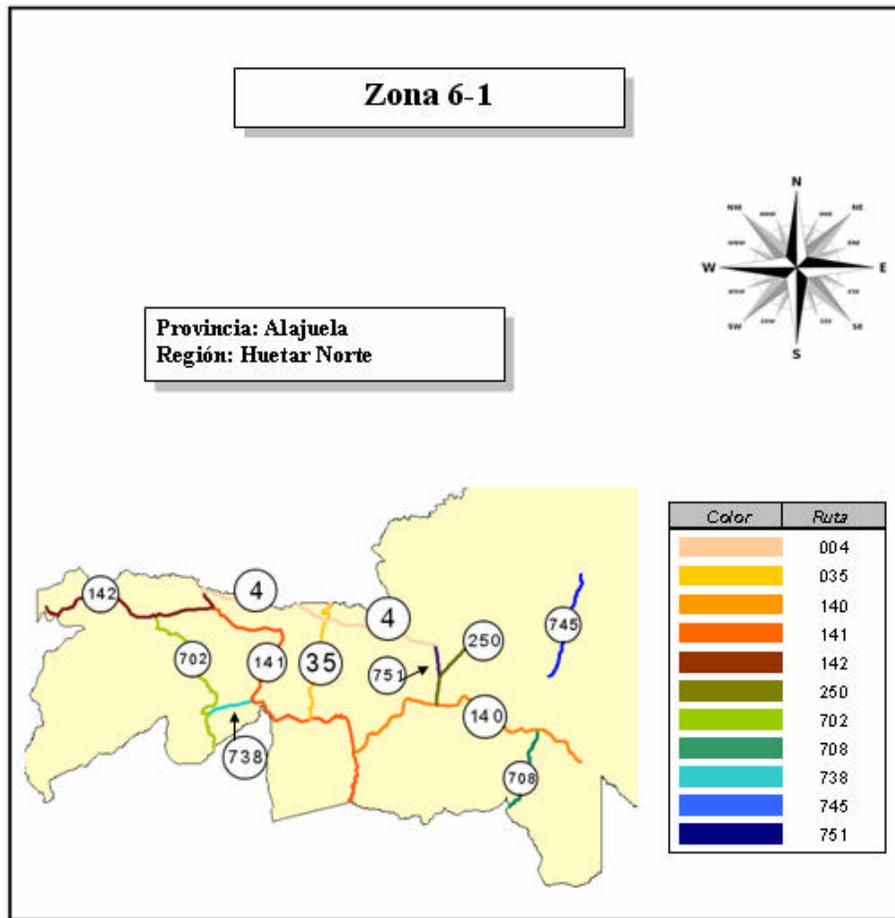
Zona 5-1 Limón



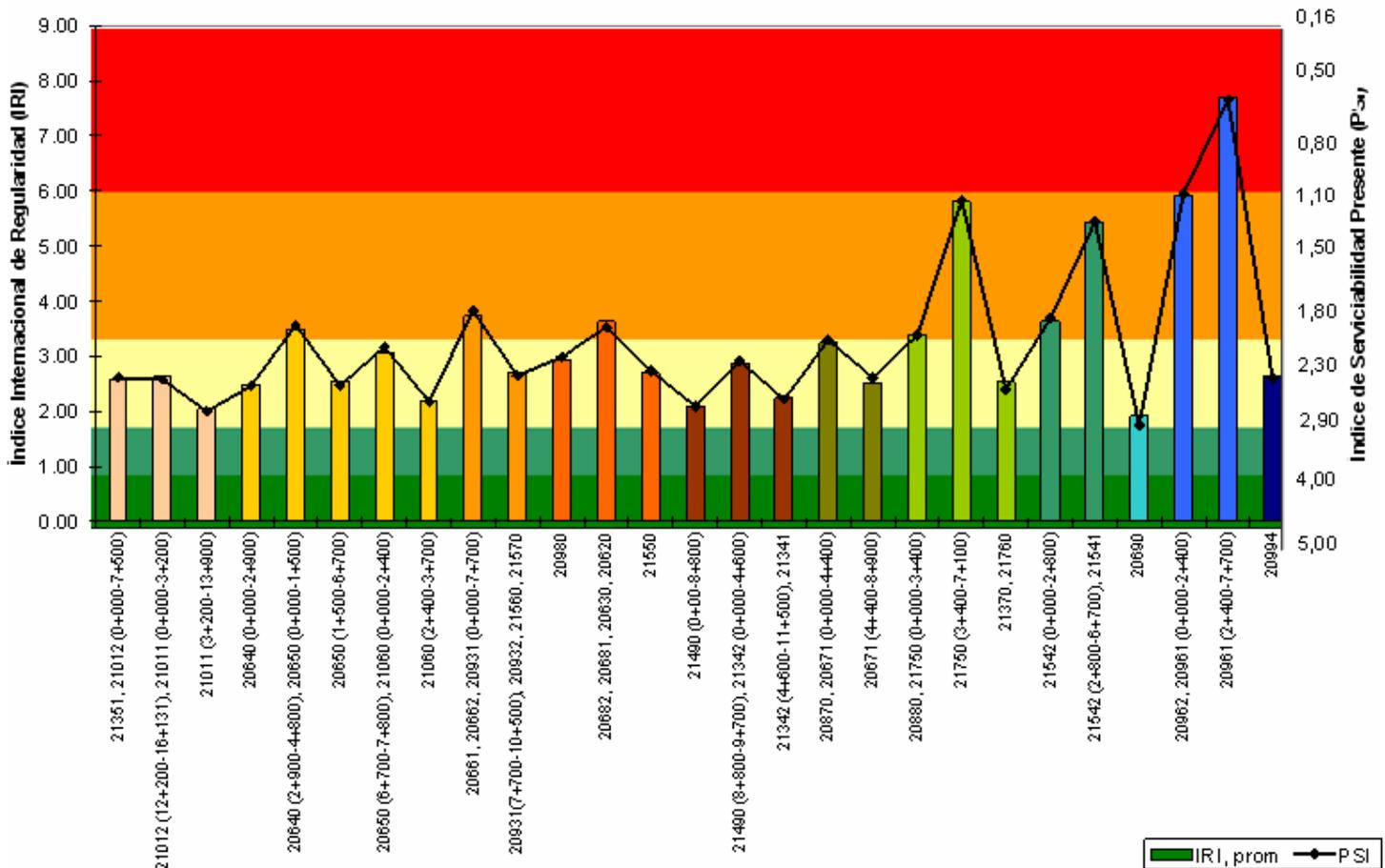


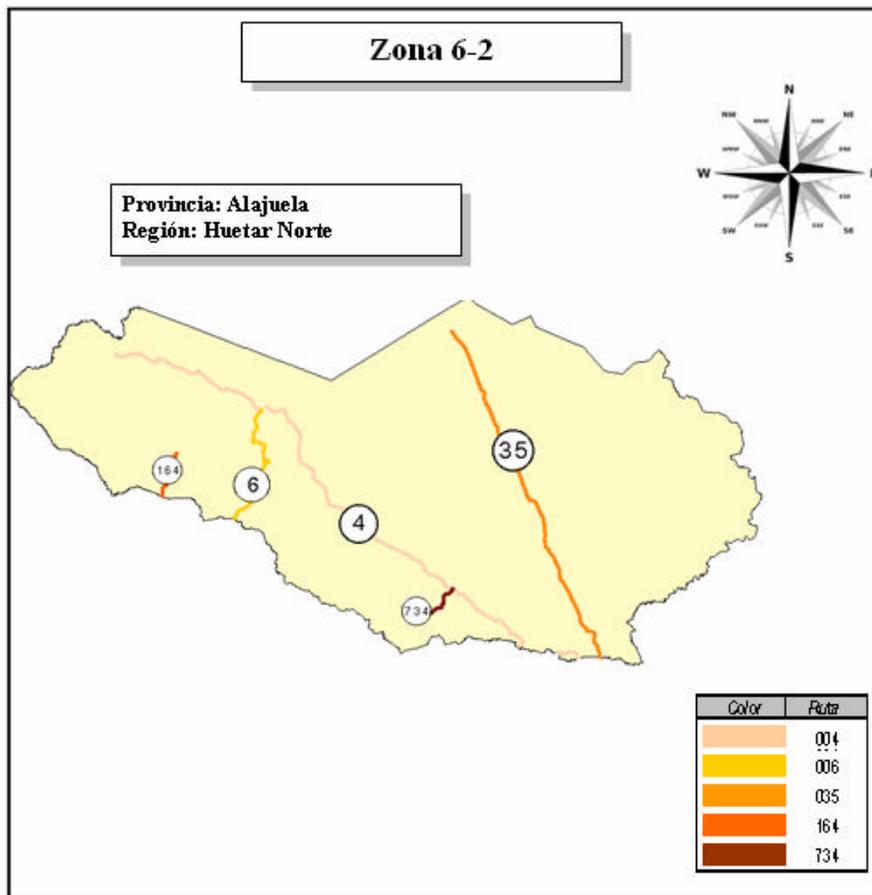
Zona 5-2 Limón



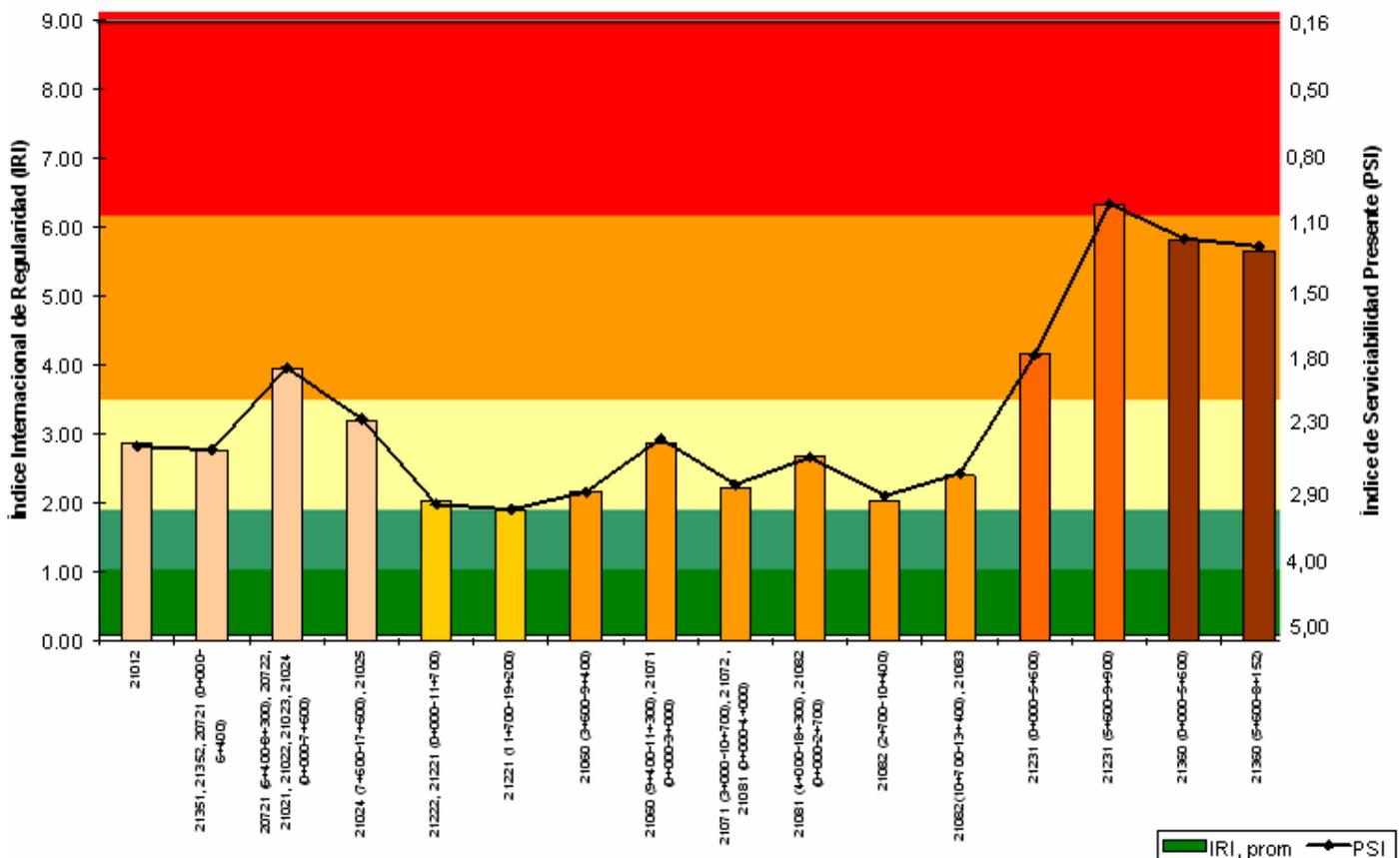


Zona 6-1 Zona Norte





Zona 6-2 Alajuela



Los gráficos mostrados presentan un total de 206 tramos homogéneos, definidos a lo largo aproximadamente de 2031 km de red vial nacional pavimentada con información procesada de IRI hasta noviembre de 2008. Se han analizado un total de 10 zonas de conservación vial quedando en proceso de análisis 12 zonas más.

Los gráficos de barras, muestran zonas de color que representan los rangos establecidos para la evaluación de la red vial nacional, de forma que es posible realizar una clasificación funcional, por regularidad superficial y serviciabilidad de cada uno de los tramos homogéneos. La escala de colores propuesta es la siguiente:

PAVIMENTOS FLEXIBLES (MODELO AASHO)	
Calificación	Descripción
Muy Buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficiente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasificaría como muy buenos.
Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desprendimientos y fisuras menores.
Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo de finos.
Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento, y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconches de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

Figura 19: Escala de colores para clasificación funcional de los tramos homogéneos.

En el capítulo 6 de este informe se hará uso de estos tramos homogéneos como unidades de análisis, en las cuales se calculará el valor de otros índices, como indicadores de las características del tramo, estos índices servirán de parámetros objetivos para la determinación de políticas de intervención a nivel de red, contribuyendo a la mejor inversión de los fondos públicos.

CAPÍTULO 6: COMPLEMENTO DEL MÉTODO VIZIR CON RANGOS DE DEFLEXIONES CALCULADOS PARA COSTA RICA. PROPUESTA DE EQUIPARACIÓN DE ESCALAS PCI – VIZIR.

En este capítulo de la investigación realizada se plantea un modelo analítico como complemento del método VIZIR, por medio del cual se calcularon las “notas de calidad de los pavimentos”, por medio de la incorporación de los límites de deflexiones calculados por el LanammeUCR en el estudio N° UI-PE-03-08 finalizado en agosto de 2008.

Adicionalmente, se complementa con una propuesta de equiparación de rangos del índice de condición del pavimento (PCI) calculado por la metodología descrita en la norma ASTM D6433 (ver capítulo 4 de este informe) con los rangos calculados por el método VIZIR, con el propósito de aplicar las estrategias de intervención propuestas por VIZIR en los tramos homogéneos definidos.

6.1 Antecedentes y justificación

El método de auscultación de pavimentos desarrollado por el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Francia a partir de 1972 conocido como VIZIR, se introduce en Costa Rica a partir de una consultoría privada realizada con la firma BCEOM, Société Française d'Ingénierie en el año 1995. A partir de este momento el Departamento de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) realiza en Costa Rica un proceso de cálculo de los índices I_s y I_d del VIZIR con una periodicidad anual, sobre casi la totalidad de la Red Vial Nacional.

Los datos de deterioro superficial obtenidos por esta metodología forman parte integral de la definición de estrategias que el Departamento de Planificación Sectorial propone a nivel de red y de ahí la importancia que esta metodología se complemente con criterios técnicos y estudios recientes sobre la realidad de la Red Vial Nacional..

Tomando en consideración la experiencia desarrollada por el MOPT en el cálculo de los índices de condición superficial por el método VIZIR a lo largo de más de 10 años y las futuras estrategias del Ministerio de fortalecer la aplicabilidad de este método, se propone en

esta sección una escala de calificación que permita equiparar el método VIZIR con la escala definida por la norma internacional ASTM D6433 (PCI), con el fin de introducir la aplicación de esta norma de forma paulatina, armoniosa y coherente con las actuales políticas gubernamentales.

Los estudios realizados en varios países donde se evaluaron diversas metodologías de auscultación superficial de pavimentos asfálticos, consideraron el método del PCI calculado a través de la norma ASTM D6433 como el más recomendado, por ser el más completo y consistente en la validación de los defectos y en la estimación de las condiciones de confort en pavimentos urbanos, de ahí la conveniencia de introducir esta norma dentro de la calificación superficial de las rutas nacionales.

Sin embargo, durante el periodo de transición, mientras se logra desarrollar experiencia en la aplicación de la norma D6433 (capítulo 4), la mejora del método VIZIR como un alternativa válida para evaluación superficial de pavimentos flexibles es una necesidad inmediata y es también abordada en esta sección, donde se complementa por medio de los resultados del estudio N° UI-PE-03-08, realizado por la Unidad de Investigación del LanammeUCR para la definición de rangos para la evaluación de la Red Vial Nacional de Costa Rica.

6.2 Complemento de la metodología VIZIR por medio de los rangos de deflexiones.

En la metodología descrita en el método VIZIR se definen en el capítulo I – “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 presenta en la Figura 20.

Deflexión 10^{-2} mm	d1		d2	
	Indice de daño superficial Is			
1 - 2 Poca o ninguna fisura o deformación				Q6
3 - 4 Fisuras sin o con deformación. Deformaciones si fisuras				
5 - 6 - 7 Fisuras y deformación		Q4		

MANTENIMIENTO

REFUERZO

Figura 20: Matriz de calificación del pavimento. Notas de calidad Q de acuerdo al deterioro superficial y a las deflexiones características.

De acuerdo a lo definido en el método VIZIR los valores d1 y d2 presentes en la figura XXX 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.

En esta sección se presenta 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.

6.3 Definición de las deflexiones características para Costa Rica

Debido a que las rutas que componen la Red Vial Nacional difieren entre si, 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 1993¹ 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 iniciar la descripción del procedimiento para 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 detalla en la metodología utilizada para definir los valores d1 y d2:

Definición de los parámetros de entrada para el diseño

a. Período de diseño

Se consideró un período de falla estructural de quince (15) años para todas las rutas, considerando que en este lapso la ruta llegará a su condición crítica, que corresponde a un PSI final de 1.5 (este valor corresponde al criterio de falla de la pista de ensayo de la

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

AASHTO), por lo tanto, se utilizan los valores de Ejes Equivalentes de Diseño correspondientes a ese periodo.

b. Porcentaje de crecimiento vehicular

Para realizar las proyecciones de tránsito necesarias, se utilizó un porcentaje de crecimiento del 6% (sugerido por algunas metodologías por su relación con el crecimiento del PIB) para la determinación de los ESAL`s de diseño.

c. Índice de serviciabilidad

Para determinar el índice de serviciabilidad, fue necesario suponer los valores de desempeño tanto iniciales como finales. En el caso del valor inicial o P_o se supone un valor de desempeño de 4.2 el cual es usual para pavimentos flexibles. En el caso del valor final lo usual es suponer un valor de 2.5, sin embargo como el objetivo es reflejar la totalidad de la pérdida de serviciabilidad, se supuso un valor de 1.5 (valor de Índice de Serviciabilidad Final en el método de Vida Remanente según AASHTO-93, que refleja la falla del pavimento).

Para el cálculo del índice de serviciabilidad en este estudio, no se tomaron en cuenta los efectos de expansividad de arcillas ni el efecto de congelamiento. Es así como se obtiene un ΔPSI como se observa a continuación:

$$\Delta PSI = 4.2 - 1.5 = 2.7$$

d. Nivel de confianza

Para realizar los diseños correspondientes, se utilizaron niveles de confianza de 90% para las rutas consideradas como principales y 80% para aquellas de menor volumen, de acuerdo a las posibilidades descritas en la guía de diseño AASHTO-93, y se calcularon valores de $Z_R = -1.282$, $Z_R = -0.841$ y $S_o = 0.45$ respectivos.

e. Paquetes estructurales elegidos

En la búsqueda de paquetes estructurales que fueran representativos de la mayoría de las rutas de la Red Vial Nacional se utilizaron paquetes estructurales conformados por Carpeta Asfáltica (CA), Base Granular (BG), Sub-Base (SB) y Sub-rasante (SR) así como un paquete estructural que tuviera una Base Estabilizada con cemento hidráulico (BE) de espesores mínimos que según la literatura puede oscilar entre 15-20 cm aproximadamente, con el fin de crear modelos representativos para el cálculo de las deflexiones. El módulo inicial de esta base estabilizada corresponde a 610.000 psi considerado así para una base tipo BE-25 al 100% de vida remanente y en el caso de la base granular se utilizó un módulo inicial de 50.000 psi.

Ya que no existe aún un modelo de deterioro en Costa Rica para capas de pavimentos, se decidió modificar el valor del módulo de forma progresiva, mediante un método iterativo.

Inicialmente se consideró una pérdida de capacidad al 60% de vida remanente que se concentra en la capa de base estabilizada donde los esfuerzos de tensión son mayores y en la carpeta asfáltica para el caso de base granular. Posteriormente se modeló una disminución, al 20% de vida remanente, que afectó tanto la capa de ruedo como las capas de base y sub-base.

Esta disminución gradual de la capacidad estructural remanente permitió calcular los distintos valores de número estructural (SN) para los diferentes momentos de la vida útil del pavimento. A cada uno de esos números estructurales fue posible asociarles un paquete estructural, típico de nuestra red vial nacional, con sus correspondientes valores de módulos de los materiales. Posteriormente por medio de la aplicación de un software de retrocálculo de módulos se obtuvieron las deflexiones características para estas estructuras.

f. Definición de rutas representativas

En el análisis estadístico realizado en el informe UI-PE-02-08 del 5 de mayo de 2008 se logró demostrar que los rangos representativos de tránsito para el país correspondían los mostrados en la siguiente tabla:

TPD
< 5000
5 000 – 15 000
15 000 – 40 000
Casos específicos

Luego de haber determinado la representatividad de los rangos de TPD, se realizó un análisis estadístico para el conjunto de datos dentro de cada cuartil de TPD y se determinó cual era la respectiva distribución del porcentaje de pesados. Los resultados se resumen en el Gráfico 6.

En el Gráfico 6 (línea verde) se muestra la variación en el porcentaje de pesados correspondiente al cuartil 75%, se observan también los porcentajes de pesados que deben ser asociados con los rangos de TPD según el análisis estadístico realizado.

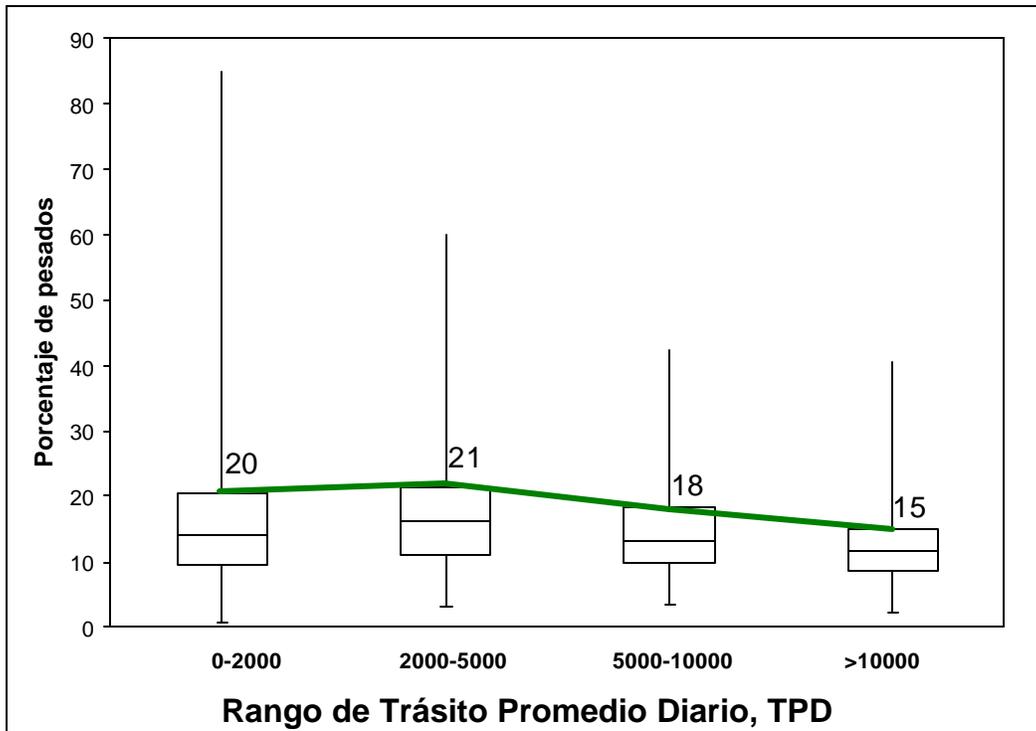


Gráfico 6: Porcentaje de pesados en el cuartil 75% para los diferentes rangos de TPD.

Para calcular los Ejes Equivalentes de Diseño, (ejes estandarizados de 9000 kg, ESAL`s por sus siglas en inglés) es necesario conocer, además de los datos de TPD y porcentaje de pesados, el Factor Camión correspondiente.

Dado que no se cuenta con datos de Factor Camión para cada una de las rutas que conforman la Red Vial Nacional, fue necesario utilizar el promedio de los factores camión encontrados en el estudio de Encuesta de Carga en Pavimentos de Costa Rica para emplearlo como dato de entrada en el cálculo de los ESAL`s.

Rangos de TPD	ESAL`s de diseño
< 5000	2.108.378
5 000 – 15 000	9.035.904
15 000 – 40 000	8.211.465
Casos específicos	44.492.028

g. Cálculo del número estructural, utilizando la metodología de la Guía de Diseño AASHTO 1993².

Para el cálculo del número estructural (SN) se utiliza la fórmula de la AASHTO-93:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ecuación 25

En la Ecuación 25 se evalúan los valores explicados en el paso 1:

ZR = -1.282 (90% de nivel de confianza) y ZR = -0.841 (80% de nivel de confianza)

So = 0.45

?PSI = 2.7

MR = 8.500 psi (Es el módulo de la sub-rasante supuesto para todas las rutas diseñadas)

Para los valores de los ESAL`s (W18) mostrados en la Ecuación 1, se calculó el Número estructural correspondiente al 100% de Vida Remanente, los valores se muestran en la

Tabla 31: Número estructural para los ESAL`s de diseño

TPD	ESAL`s de diseño a 15 años	Número estructural a 15 años
0 - 5000	2.108.378	3.22
5000 – 15000	9.035.904	3.93
15000 – 40000	8.211.465	4.13
Casos Particulares	44.492.028	5.14

² AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C., 1993.

h. Cálculo de los números estructurales correspondientes a la pérdida de capacidad estructural, utilizando el método de “Vida Remanente” descrito en la Guía de Diseño AASHTO 1993.

Para este estudio el criterio utilizado fue el de evaluar las variaciones en el número estructural al 60%, 20% y al 0% de Vida Remanente. Numerosos estudios demuestran que el comportamiento de la curva del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) para la mayoría de los pavimentos tiene un comportamiento donde la variación del índice es muy baja en los primeros años y desciende de forma acelerada al final del período de diseño, por lo tanto, las deflexiones esperadas antes de un 60% de Vida Remanente serán representativas de un pavimento en buen estado estructural y aquellas obtenidas para un pavimento con un 20% de Vida Remanente corresponderían a un pavimento con un mal estado estructural.

Tabla 32: Número Estructural con respecto a la reducción de Vida Remanente

Ruta	Vida Remanente con Base Estabilizada				Vida Remanente con Base Granular			
	100%	60%	20%	0%	100%	60%	20%	0%
0 - 5000	3.95	3.64	3.00	1.98	3.22	2.96	2.45	1.61
5000 - 15000	4.72	4.34	3.59	2.36	3.93	3.61	2.97	1.96
15000 - 40000	4.80	4.39	3.63	2.39	4.13	3.8	3.14	2.06
Casos Particulares	5.85	5.38	4.44	2.92	5.14	4.73	3.91	2.57

i. Definición del paquete estructural para los grupos de rutas

Se realizó el diseño para cada rango de TPD, tomando como base el número estructural correspondiente al 100% de vida remanente. Se propusieron espesores para cada capa y se usaron los valores de módulos típicos (Tabla 33).

Tabla 33: Módulos típicos para materiales

Capa	Paquete estructural con base granular		Paquete estructural con base estabilizada	
	Módulos (MPa)	Módulos (psi)	Módulos (MPa)	Módulos (psi)
Carpeta	2.758	400.000	2.758	400.000
Base	345	50.000	4.206	610.000
Subbase	103	15.000	103	15.000
Subrasante	59	8.500	59	8.500

Posteriormente, para el diseño correspondiente al 60%, 20% y 0% de Vida Remanente, se mantuvieron constantes los espesores y se simuló la disminución en la capacidad estructural del paquete, mediante la reducción de los valores de sus módulos. La reducción de la capacidad (y por tanto del módulo) se supuso que afectaría inicialmente las capas superiores, y sucesivamente las inferiores, con excepción del caso de base estabilizada donde el deterioro empieza en la base y conforme se pierde vida remanente se trasladan a las demás capas.

j. Cálculo de las deflexiones correspondientes a cada paquete estructural, utilizando el EVERSTRESS.

Los diseños realizados fueron analizados mediante el paquete de computación EVERSTRESS. Se introdujeron los datos de espesores para cada ruta, así como los módulos correspondientes al diseño para cada porcentaje de vida remanente (número estructural).

De esta manera se obtuvieron las deflexiones correspondientes (D1) para una carga de 40000N aplicados en un área de contacto circular de 15cm de radio, lo cual equivale a una presión de 566kPa aproximadamente, para simular la carga aplicada durante el ensayo de deflectometría de impacto.

Los resultados de deflexiones para cada rango y para cada número estructural se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34: Variación de las deflexiones (mm-2) con respecto a la reducción de Vida Remanente

Rangos de TPD	Vida Remanente con base granular.				Vida Remanente con base Estabilizada.			
	100%	60%	20%	0%	100%	60%	20%	0%
0 - 5000	71.1	76.5	88.5	115.7	35.2	36.4	39.7	53.3
5000 - 15000	65.1	70.8	83.3	112.9	31.3	32.4	36.7	50.4
15000 - 40000	61.4	67.6	79.1	107.9	30.4	31.7	35.9	50.5
Casos Particulares	51.8	57.2	66.9	93.6	23.7	24.5	26.9	38.0

k. Determinación de los rangos de deflexiones.

A continuación se presentan los distintos valores de deflexiones características, de la red vial nacional, detallándose los parámetros de diseño para cada uno de ellos:

Para rutas con TPD [0 – 15000]	Para rutas con TPD [15000 – 40000 y casos especiales]
Zr=80% y 90%	Zr=95%
So=0.45	So=0.5
Periodo de falla estructural= 15 años	Periodo de falla estructural= 20 años
<p>MAC Base Granular Sub- base granular Sub-rasante</p>	<p>MAC Base Granular Sub- base granular Sub-rasante</p>

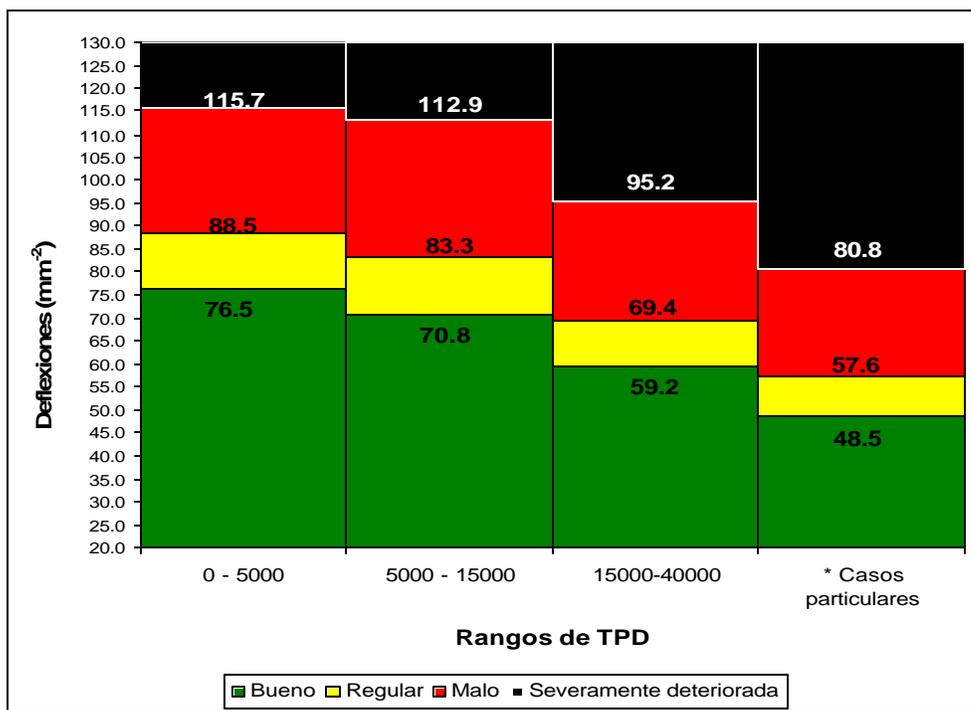


Gráfico 7: Rangos de deflexión en mm-2 propuestos para diferentes rangos de TPD

Deflexiones características para estructura con base estabilizada

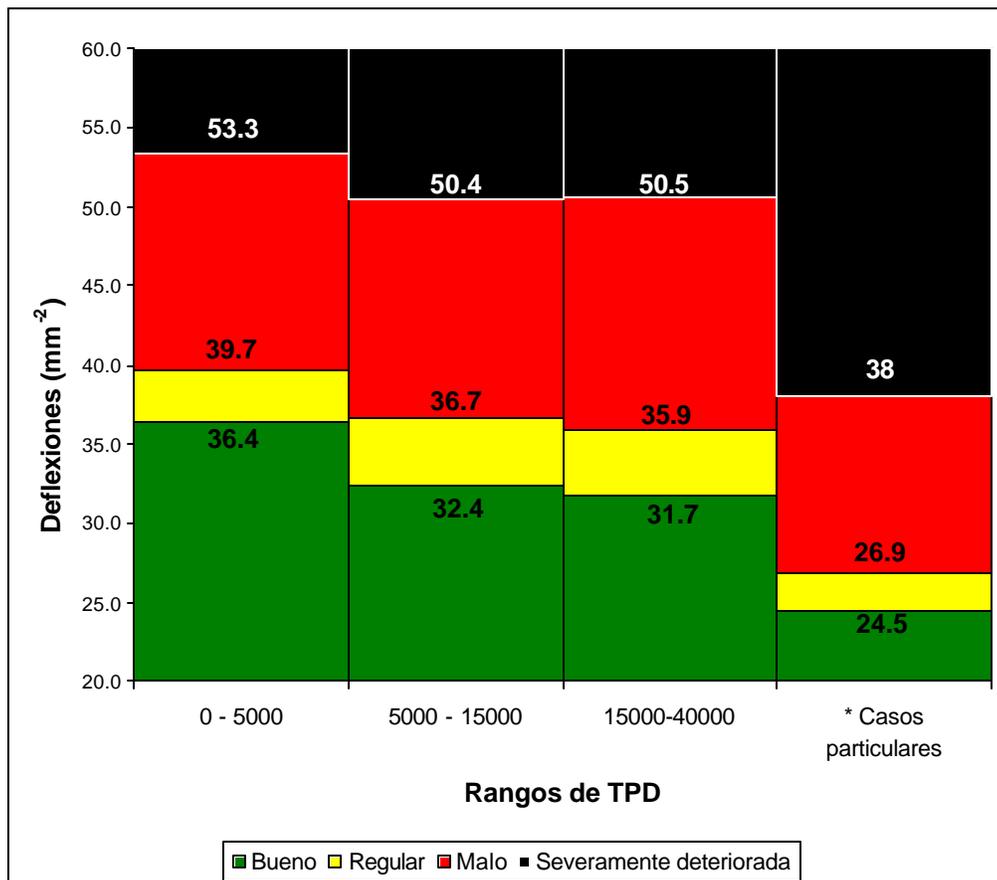
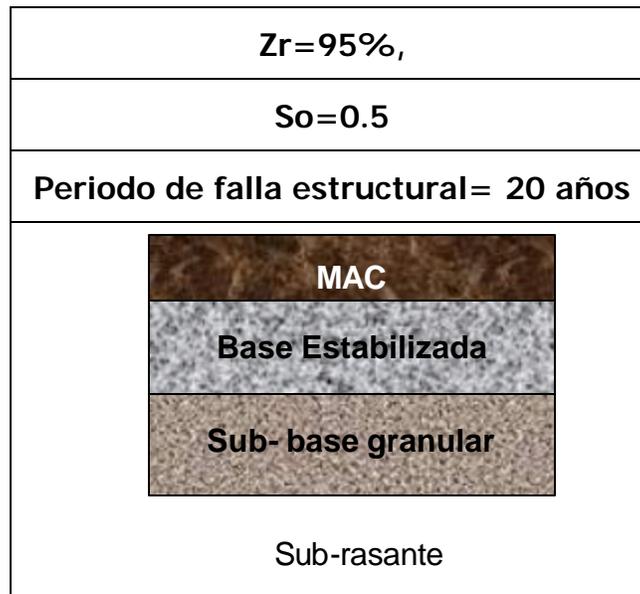


Gráfico 8: Valores de deflexión en mm-2 propuestos para diferentes rangos de TPD

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 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.

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

Tabla 35: Valores de deflexiones características calculadas por rango de TPD

	Rangos de Tránsito Promedio diarios (TPD)	d1 mm 10 ⁻²	d2 mm 10 ⁻²	d3 mm 10 ⁻²
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

Nota: En el caso de los paquetes estructurales con base estabilizada se agruparon los rangos de 5000 – 15000 y 15000 – 40000 en un solo rango de 5000 – 40000 ya que las diferencias entre las magnitudes de las deflexiones no eran significativas.

I. 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 los siguientes cuadros:

a) Paquete estructural con Base Granular

Tabla 36: Notas de calidad para rango de deflexiones de 0 – 5000 TPD

TPD 0 - 5000						
Deflexión 10 ⁻² mm	76.5		88.5		115.7	
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4		
1 - 2 Poca o ninguna fisura o deformación	Q1	Q3	Q6	QF-1		
3 - 4 Fisuras sin o con deformación. Deformaciones sin fisuras	Q2	Q5	Q8	QF-2		
5 - 6 - 7 Fisuras y deformación	Q4	Q7	Q9	QF-3		

Tabla 37: Notas de calidad para rango de deflexiones de 5000 – 15000 TPD

TPD 5000 - 15000				
Deflexión 10 ⁻² mm	70.8		83.3	112.9
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
1 - 2 Poca o ninguna fisura o deformación	Q1	Q3	Q6	QF-1
3 - 4 Fisuras sin o con deformación. Deformaciones sin fisuras	Q2	Q5	Q8	QF-2
5 - 6 - 7 Fisuras y deformación	Q4	Q7	Q9	QF-3

Tabla 38: Notas de calidad para rango de deflexiones de 15000 – 40000 TPD

TPD 15000 - 40000				
Deflexión 10 ⁻² mm	59.2		69.4	95.2
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
1 - 2 Poca o ninguna fisura o deformación	Q1	Q3	Q6	QF-1
3 - 4 Fisuras sin o con deformación. Deformaciones sin fisuras	Q2	Q5	Q8	QF-2
5 - 6 - 7 Fisuras y deformación	Q4	Q7	Q9	QF-3

Tabla 39: Notas de calidad para rango de deflexiones de Casos Particulares

Casos Particulares *				
Deflexión 10 ⁻² mm	48.5		57.6	80.8
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
1 - 2 Poca o ninguna fisura o deformación	Q1	Q3	Q6	QF-1
3 - 4 Fisuras sin o con deformación. Deformaciones sin fisuras	Q2	Q5	Q8	QF-2
5 - 6 - 7 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. Florencio del Castillo y 8.Ruta 2. Pérez Zeledón

b) Paquete estructural con Base Estabilizada

Tabla 40: Notas de calidad para rango de deflexiones de 0 – 5000 TPD

TPD 0 - 5000				
Deflexión 10 ⁻² mm	36.4		39.7	53.3
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
1 - 2 Poca o ninguna fisura o deformación	Q1	Q3	Q6	QF-1
3 - 4 Fisuras sin o con deformación. Deformaciones sin fisuras	Q2	Q5	Q8	QF-2
5 - 6 - 7 Fisuras y deformación	Q4	Q7	Q9	QF-3

Tabla 41: Notas de calidad para rango de deflexiones de 5000 – 40000 TPD

TPD 5000 - 40000				
Deflexión 10 ⁻² mm	32.05		36.3	50.45
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
1 - 2 Poca o ninguna fisura o deformación	Q1	Q3	Q6	QF-1
3 - 4 Fisuras sin o con deformación. Deformaciones sin fisuras	Q2	Q5	Q8	QF-2
5 - 6 - 7 Fisuras y deformación	Q4	Q7	Q9	QF-3

Tabla 42: Notas de calidad para rango de deflexiones de Casos Particulares

Casos Particulares *				
Deflexión 10 ⁻² mm	24.5		26.9	38
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
1 - 2 Poca o ninguna fisura o deformación	Q1	Q3	Q6	QF-1
3 - 4 Fisuras sin o con deformación. Deformaciones sin fisuras	Q2	Q5	Q8	QF-2
5 - 6 - 7 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. Florencio del Castillo y 8.Ruta 2. Pérez Zeledón

m. Definición de las notas de calidad Q

En el modelo propuesto en este capítulo 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_{final}) 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 QF3) 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 a hacer, el índice de fisuración (I_f) interviene para determinar la fecha y el tipo de trabajo.

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 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 ligados 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 un pérdida total de vida estructural remanente. Esta condición se asocia con trabajos recientes que mejoraron la capacidad funcional sin ningún aporte estructural pero 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 el capítulo XXX de 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).

n. Propuesta de equiparación de escalas entre el método VIZIR y el método PCI de la norma ASTM D6433

La propuesta inicial de equiparación de escalas presentada en este proyecto constituye una primera aproximación que debe ser calibrada mediante validaciones de campo en tramos de control. Principalmente tomando en consideración algunas diferencias sustanciales entre ambos métodos.

El método del PCI utiliza para la definición del índice, una especie de “ponderación” de los deterioros, por medio de los “valores de deducción”, que son factores que se aplican a un total de 19 tipos distintos de deterioros superficiales, estos deterioros son: 1) Piel de cocodrilo, 2) Exudación, 3) Agrietamiento en bloque 4) Abultamientos y hundimientos 5) Corrugación 6) Depresión, 7) Grieta de borde 8) Grieta de reflexión de junta 9) Desnivel carril

/ berma 10) Grietas long y transversal 11) Parcheo 12) Pulimento de agregados, 13) Huecos, 14) Cruce de vía férrea, 15) Ahuellamiento, 16) Desplazamiento 17) Grieta parabólica (slippage), 18) Hinchamiento y 19) Desprendimiento de agregados. Como se puede ver, los deterioros que son considerados en el cálculo del PCI incluyen tanto aquellos deterioros que representan una pérdida de la capacidad funcional de la carretera, tales como “exudación” o “pulimento de agregados” como aquellos que son signo de pérdida de capacidad estructural como “piel de lagarto” o “grietas longitudinales y transversales”, lo cual convierte al PCI en un índice muy completo y representativo de la calidad superficial de un pavimento. Este índice cuantifica todos estos deterioro (si se presentan) valorando su nivel de severidad y su extensión para calificar el pavimento en una escala de siete (7) categorías, que varían desde “excelente” condición superficial, hasta “fallado”.

En el caso del método VIZIR, éste utiliza una escala de clasificación que también consta de siete (7) categorías, variando desde valores de 1 (pavimento en perfectas condiciones) hasta 7 (pavimento destruido). En primera instancia se podría creer que la equiparación de escalas es casi inmediata por su similitud con el método del PCI, sin embargo, se debe considerar que el método VIZIR utiliza para la determinación del valor final (Is) principalmente aquellos deterioros denominados de tipo A, que corresponden únicamente a deterioros representativos de pérdida de la capacidad estructural, estos deterioros son: 1. Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales, 2. Grietas longitudinales por fatiga, 3. Piel de cocodrilo y 4. Bacheos y parcheos, los deterioros de tipo B son de tipo funcional y son cuantificados para definir, en fases posteriores del método, intervenciones más específicas y no son parte de la calificación superficial del pavimento. El método VIZIR se basa en la estrategia de que los daños de tipo B solo van a intervenir en la definición de una solución en ausencia de daños de tipo A y que en presencia de daños de tipo A, la intervención requerida va a mitigar aquellos defectos de tipo B que puedan existir.

Considerando las diferencias existentes entre ambos métodos, la equiparación de escalas debe darse con precaución, ya que un pavimento calificado por el método VIZIR como en perfectas condiciones (valor de 1) por ausencia de deterioros de tipo estructural no necesariamente corresponde a un valor de PCI de 85 - 100, ya que podría darse el caso de

que exista presencia de deterioros de tipo funcional (B) que el PCI si cuantifique, obteniendo valores de PCI inferiores al rango equiparado de VIZIR.

Por lo tanto, la propuesta de equiparación de rangos que se presenta en esta sección es una aproximación inicial que debe ser calibrada con tramos de prueba y evaluada por ambos métodos y es mayormente aplicable en superficies de pavimentos flexibles cuando la presencia de deterioros de tipo B es poco significativa.

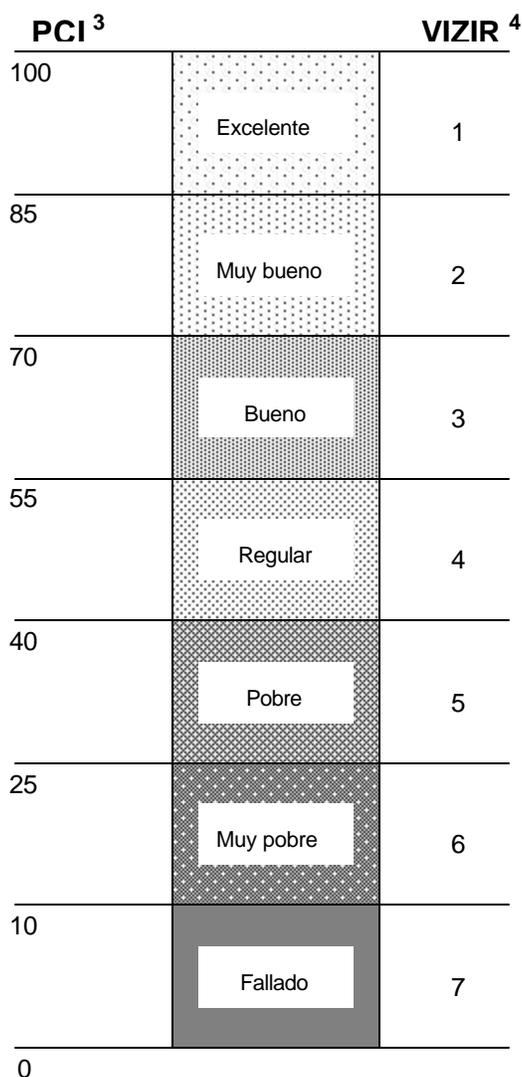


Figura 21: Equiparación de escalas métodos PCI y VIZIR

³ ASTM. D 6433. United States, West Conshohocken, PA 19428 – 2959

⁴ Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Francia 1972

De acuerdo a la equiparación de escalas propuesta y considerando las limitaciones descritas anteriormente, será posible asignar un valor aproximado de PCI a aquellos tramos homogéneos definidos en el capítulo XX y para los cuales se calculará, en la siguiente sección, el valor correspondiente de la nota de calidad Q que proviene del método VIZIR para las zonas de conservación vial evaluadas hasta el momento.

ñ. Definición de estrategias de intervención a nivel de red, para las rutas nacionales

Zonas de Conservación Vial 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 4-2, 4-3, 5-1, 5-2, 6-1 y 6-2

En esta sección se presenta una propuesta de definición de estrategias de intervención a nivel de red, proveniente de los valores de IRI calculados y del cálculo de las notas de calidad Q para las rutas nacionales comprendidas en las zonas de conservación vial 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 4-2, 4-3, 5-1, 5-2, 6-1 y 6-2.

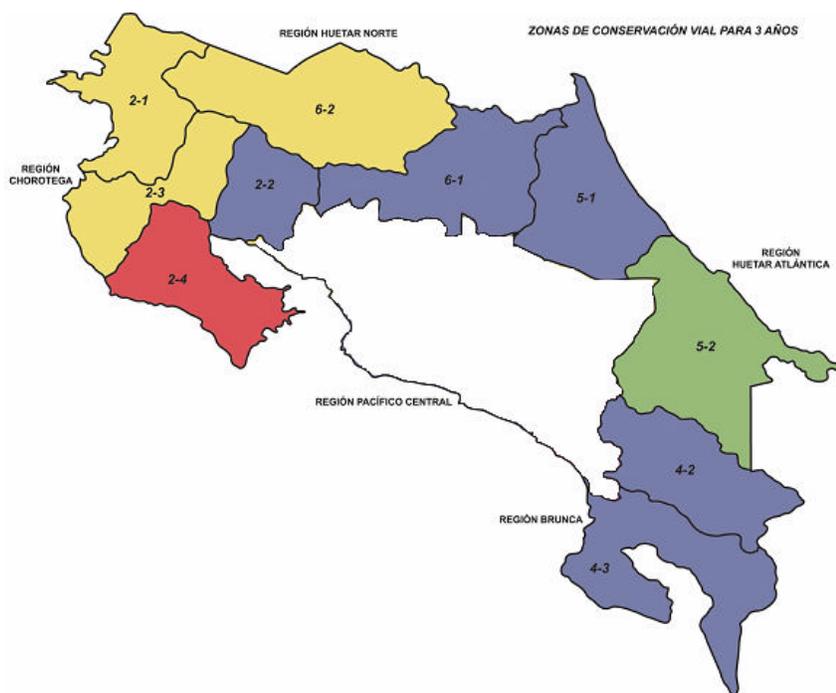


Figura 22: Zonas evaluadas a octubre de 2008

El procedimiento de cálculo que se siguió para determinar los índices, consistió en calcular los valores estadísticamente representativos de VIZIR y los valores de deflexiones características, medidas con deflectómetro de impacto, para todos los tramos homogéneos calculados en el capítulo 5 de 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 (I_s) del VIZIR, se realizó un análisis similar para asignar valores representativos de TPD, los cuales determinaron los rangos de deflexiones d_1 , d_2 y d_3 que se aplicaban de acuerdo a las tablas mostradas anteriormente, así como los datos de deflectometría representativos, de esta forma, fue posible caracterizar los tramos homogéneos de acuerdo a su condición estructural, condición funcional, volumen vehicular y de 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 deterioros superficial (VIZIR) y el de regularidad internacional (IRI), sin embargo, el I_s 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, estas 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 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 indique 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 es necesario en fases posteriores, realizar mediciones en tramos de prueba e introducir el cálculo “in situ” de índices más detallados como el PCI.

Los resultados del análisis realizado se resume en las siguientes tablas para cada zona:

ZONA 2-1

ZONA	TRAMO HOMOGÉNEO	CODIGO	SECCIONES DE CONTROL	IRI	PSI	VIZIR	DEFLEXION TRAMO HOMOGÉNEO	TPD del tramo homogéneo	NOTA DE CALIDAD FINAL	ESTRATEGIA DE INTERVENCION	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	RECONSTRUCCION	45
2-1	4	2100104	50040(0+000-24+700)	2.52	2.5	5.0	125.1	CASO PARTICULAR	QF-3	RECONSTRUCCION	30
2-1	5	2100105	50040(24+700-30+700)	3.65	2.0	4.0	93.4	CASO PARTICULAR	QF-2	RECONSTRUCCION	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	RECONSTRUCCION	60
2-1	8	2100402	50280(7+600-14+400)	4.25	1.7	3.0	82.5	700	Q5	INDETERMINACION	60
2-1	9	2100403	50290(0+000-3+800)	5.15	1.4	4.0	85.7	642	Q5	INDETERMINACION	45
2-1	10	2100404	50290(3+800-11+800)	3.73	1.9	3.0	81.1	642	Q5	INDETERMINACION	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	RECONSTRUCCION	30
2-1	13	2102103	50082, 50091 (0+000-0+800)	2.92	2.3	5.0	133.0	5536	QF-3	RECONSTRUCCION	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	INDETERMINACION	90
2-1	17	2115901	50432, 50431(0+000-3+900)	5.51	1.3	4.0	81.6	1363	Q5	INDETERMINACION	45
2-1	18	2115902	50431(3+900-7+000)	4.03	1.8	4.0	125.5	1755	QF-2	RECONSTRUCCION	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	RECONSTRUCCION	15
2-1	23	2191401	50321(0+000-4+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	INDETERMINACION	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	INDETERMINACION	60
2-1	27	2193501	51200	4.29	1.7	1.0	103.7	200	Q6	INDETERMINACION	90

ZONA 2-2

ZONA	TRAMO HOMOGÉNEO	CODIGO	SECCIONES DE CONTROL	IRI	SV	X	PSI	VIZIR	DEFLEXION TRAMO HOMOGÉNEO	TPD del tramo homogéneo	NOTA DE CALIDAD FINAL	ESTRATEGIA DE INTERVENCION VIZIR MODIFICADO	PCI APROX.
2-2	1	2200101	50020, 50010 (0+000-7+200)	2.83	18.14	1.28	2.4	2.0	70.0	CASO PARTICULAR	Q6	INDETERMINACION	75
2-2	2	2200102	50010 (7+200-11+400), 50000 (0+000-6+800)	3.07	21.44	1.35	2.2	2.0	51.0	CASO PARTICULAR	Q3	MANTENIMIENTO	75
2-2	3	2200103	50000 (6+000-12+700)	3.94	35.23	1.56	1.8	3.0	44.4	CASO PARTICULAR	Q2	MANTENIMIENTO	60
2-2	4	2200601	50900 (0+000-1+300)	3.19	23.10	1.38	2.2	5.0	107.8	1585	Q9	REFUERZO	30
2-2	5	2200602	50900 (1+300-2+700)	6.44	94.16	1.98	1.0	5.0	122.4	1585	QF-3	RECONSTRUCCION	30
2-2	6	2200603	50900 (2+700-10+000)	3.08	21.54	1.35	2.2	5.0	136.5	1585	QF-3	RECONSTRUCCION	30
2-2	7	2200604	50900 (10+000-12+700)	4.41	44.15	1.65	1.7	5.0	176.4	1585	QF-3	RECONSTRUCCION	30
2-2	8	2200605	50900 (12+700-16+500)	2.70	16.55	1.24	2.4	5.0	157.9	1585	QF-3	RECONSTRUCCION	30
2-2	9	2200606	50900 (16+500-23+600)	5.03	57.44	1.77	1.5	4.0	147.8	1585	QF-2	RECONSTRUCCION	45
2-2	10	2201801	50850(0+000-5+800)	2.87	18.73	1.30	2.3	3.0	8.1	2300	Q2	MANTENIMIENTO	60
2-2	11	2201802	50850(5+800-9+300)	2.15	10.45	1.06	2.8	3.0	8.1	2300	Q2	MANTENIMIENTO	60
2-2	12	2201803	50850(9+300-20+600), 51110 (0+000-1+600)	2.90	19.14	1.30	2.3	3.0	8.8	2300	Q2	MANTENIMIENTO	60
2-2	13	2201804	51110	1.80	7.34	0.92	3.1	1.0	29.0	2300	Q1	MANTENIMIENTO	90
2-2	14	2213301	50860	3.12	22.10	1.36	2.2	4.0	77.9	395	Q5	INDETERMINACION	45
2-2	15	2214201	50193, 50192, 50191	6.40	93.05	1.97	1.0	5.0	96.9	1315	Q9	REFUERZO	30
2-2	16	2214202	50310, 50150	3.37	25.83	1.43	2.1	3.0	94.4	1840	Q8	REFUERZO	60
2-2	17	2260101	50341	5.99	81.46	1.92	1.1	5.0	12.4	425	Q4	INDETERMINACION	30
2-2	18	2292301	50840 (0+000-9+500)	2.62	15.58	1.22	2.5	4.0	54.5	3678	Q2	MANTENIMIENTO	45
2-2	19	2292302	50840 (9+500-14+500)	6.07	83.65	1.93	1.1	3.0	56.8	3678	Q2	MANTENIMIENTO	60
2-2	20	2292601	50201	5.11	59.28	1.78	1.4	3.0	97.2	775	Q8	REFUERZO	60
2-2	21	2292701	50921	4.80	52.31	1.73	1.5	1.0	135.9	775	QF-1	RECONSTRUCCION	90

ZONA 2-3

TRAMO HOMOGÉNEO	CODIGO	SECCIONES DE CONTROL	IRI	PSI	VIZIR	DEFLEXION TRAMO HOMOGÉNEO	TPD del tramo homogéneo	NOTA DE CALIDAD FINAL	ESTRATEGIA DE INTERVENCION	PCI APROX.
1	2300101	50030 (0+000-14+000)	4.39	1.7	4.0	121.4	4226	QF-2	RECONSTRUCCION	45
2	2300102	50030(14+000-16+300), 51120	3.00	2.3	3.0	86.9	4226	Q5	INDETERMINACION	60
3	2302101	50120	1.29	3.6	2.0	26.8	6960	Q1	MANTENIMIENTO	75
4	2302102	50100, 50093, 50092, 50091	3.14	2.2	4.0	71.1	5726	Q5	INDETERMINACION	45
5	2315501	50480, 50511(0+000-6+800)	2.50	2.5	3.0	70.3	2410	Q2	MANTENIMIENTO	60
6	2315502	50511 (6+800-8+200), 50512, 50540(0+000-2+600)	2.57	2.5	1.0	60.1	2375	Q1	MANTENIMIENTO	90
7	2315503	50540(2+600-8+100)	2.43	2.6	1.0	56.3	2375	Q1	MANTENIMIENTO	90
8	2316001	50230(0+000-8+800)	6.11	1.1	5.0	69.1	1325	Q4	INDETERMINACION	30
9	2316002	50230(8+800-15+710)	4.82	1.5	4.0	66.3	1325	Q2	MANTENIMIENTO	45
10	2316401	50391, 50392 (0+000-2+400)	4.48	1.6	3.0	152.7	1140	QF-2	RECONSTRUCCION	60
11	2316402	50392 (2+400-8+700), 50400	3.62	2.0	2.0	135.9	910	QF-1	RECONSTRUCCION	75
12	2316501	50911(0+000-4+000)	4.65	1.6	3.0	124.2	450	QF-2	RECONSTRUCCION	60
13	2316502	50911(4+000-5700)	6.55	1.0	3.0	110.8	450	Q8	REFUERZO	60
14	2318001	50520(0+000-5+100)	6.28	1.0	4.0	87.0	1690	Q5	INDETERMINACION	45
15	2318002	50520(5+100-10+511)	3.04	2.2	3.0	104.4	1690	Q8	REFUERZO	60
16	2390401	50641	3.29	2.1	3.0	46.2	5	Q2	MANTENIMIENTO	60
17	2391001	50491	6.96	0.8	3.0	80.5	705	Q5	INDETERMINACION	60
18	2393101	50701 (0+000-3+200)	6.25	1.1	5.0	53.1	915	Q4	INDETERMINACION	30
19	2393102	50701(3+200-8+000), 50702	5.30	1.4	3.0	72.6	915	Q2	MANTENIMIENTO	60
20	2393301	50421	3.74	1.9	1.0	84.7	955	Q3	MANTENIMIENTO	90
21	2393302	50422	6.13	1.1	3.0	102.1	955	Q8	REFUERZO	60

ZONA 2-4

ZONA	TRAMO HOMOGÉNEO	CODIGO	SECCIONES DE CONTROL	IRI	PSI	VIZIR	DEFLEXION TRAMO HOMOGÉNEO	TPD del tramo homogéneo	NOTA DE CALIDAD FINAL	ESTRATEGIA DE INTERVENCION	PCI APROX.
2-4	1	2401801	50741(0+000-6+400)	1.83	3.0	1.0	26.3	3070	Q1	MANTENIMIENTO	90
2-4	2	2401802	50741(6+400-8+800), 50742	5.68	1.2	3.0	47.5	3070	Q2	MANTENIMIENTO	60
2-4	3	2402101	50131	2.53	2.5	3.0	50.2	5726	Q2	MANTENIMIENTO	60
2-4	4	2402102	50160, 50270, 50731, 50732 (0+000-3+300)	3.72	1.9	2.0	76.7	2183	Q3	MANTENIMIENTO	75
2-4	5	2402103	50732(3+300-4+493), 60761	4.95	1.5	3.0	69.8	2447	Q2	MANTENIMIENTO	60
2-4	6	2402104	60762	5.65	1.2	4.0	80.0	1030	Q5	INDETERMINACION	45
2-4	7	2402105	60780	5.65	1.2	4.0	87.8	660	Q5	INDETERMINACION	45
2-4	8	2415001	50171, 50172, 50651(0+000-4+700)	4.24	1.7	5.0	68.6	8633	Q4	INDETERMINACION	30
2-4	9	2415002	50651(4+700-8+000)	4.27	1.7	4.0	59.3	950	Q2	MANTENIMIENTO	45
2-4	10	2415003	50651(8+000-15+000), 50652 (0+000-4+400)	5.27	1.4	5.0	77.2	950	Q7	REFUERZO	30
2-4	11	2415004	50652 (4+400-18+700)	6.52	1.0	5.0	44.0	950	Q4	INDETERMINACION	30
2-4	12	2415801	50660	4.33	1.7	4.0	77.0	1125	Q5	INDETERMINACION	45
2-4	13	2415802	50681	3.35	2.1	3.0	68.8	1160	Q2	MANTENIMIENTO	60
2-4	14	2416001	60811	5.19	1.4	4.0	116.5	475	QF-2	RECONSTRUCCION	45
2-4	15	2416002	60812(0+000-7+900)	4.41	1.7	3.0	97.8	630	Q8	REFUERZO	60
2-4	16	2416003	60812(7+900-17+600), 60813	5.07	1.4	3.0	89.0	1105	Q8	REFUERZO	60
2-4	17	2416004	50460, 50600	3.33	2.1	3.0	32.8	760	Q2	MANTENIMIENTO	60
2-4	18	2416101	51000	2.99	2.3	3.0	62.0	2050	Q2	MANTENIMIENTO	60
2-4	19	2462101	60770	6.25	1.1	5.0	100.3	630	Q9	REFUERZO	30
2-4	20	2490501	50181	7.07	0.8	4.0	67.9	155	Q2	MANTENIMIENTO	45

ZONA 4-2

ZONA	TRAMO HOMOGÉNEO	CODIGO	SECCIONES DE CONTROL	IRI	PSI	VIZIR	DEFLEXION TRAMO HOMOGÉNEO	TPD del tramo homogéneo	NOTA DE CALIDAD FINAL	ESTRATEGIA DE INTERVENCION	PCI APROX.
4-2	1	4200201	10001	1.62	3.2	1.0	13.0	CASO PARTICULAR	Q1	MANTENIMIENTO	90
4-2	2	4200202	60060 (0+000-13+800)	2.22	2.7	3.0	17.0	CASO PARTICULAR	Q2	MANTENIMIENTO	60
4-2	3	4200203	60052 (0+000-4+600)	2.05	2.9	3.0	18.3	CASO PARTICULAR	Q2	MANTENIMIENTO	60
4-2	4	4200204	60052 (4+600-19+500)	2.97	2.3	3.0	15.3	CASO PARTICULAR	Q2	MANTENIMIENTO	60
4-2	5	4200205	60052 (19+500-24+200), 60051 (0+000-13+700)	2.23	2.7	4.0	26.5	CASO PARTICULAR	Q2	MANTENIMIENTO	45
4-2	6	4200206	60051(13+700-25+000)	2.56	2.5	4.0	31.1	760	Q2	MANTENIMIENTO	45
4-2	7	4223701	60982, 60981, 60340	5.64	1.3	3.0	71.2	1257	Q2	MANTENIMIENTO	60
4-2	8	4223702	60292, 60291	9.00	0.2	4.0	71.1	1149	Q2	MANTENIMIENTO	45
4-2	9	4224601	60320	3.30	2.1	5.0	43.3	5195	Q4	INDETERMINACION	30
4-2	10	4232701	10891	4.47	1.6	3.0	43.4	245	Q2	MANTENIMIENTO	60
4-2	11	4261201	60331	7.05	0.8	5.0	62.3	785	Q4	INDETERMINACION	30
4-2	12	4261202	60332 (0+000-7+000)	8.53	0.3	3.0	64.6	495	Q2	MANTENIMIENTO	60
4-2	13	4261203	60332 (7+000-13+900)	6.97	0.8	3.0	78.1	495	Q5	INDETERMINACION	60
4-2	14	4261301	60300	6.82	0.9	5.0	77.5	2080	Q7	REFUERZO	30
4-2	15	4261701	60991, 60992	4.81	1.5	4.0	58.5	710	Q2	MANTENIMIENTO	45

ZONA 4-3

ZONA	TRAMO HOMOGÉNEO	CODIGO	SECCIONES DE CONTROL	IRI	PSI	VIZIR	DEFLEXION TRAMO HOMOGÉNEO	TPD del tramo homogéneo	NOTA DE CALIDAD FINAL	ESTRATEGIA DE INTERVENCION	PCI APROX.
4-3	1	4300201	60040, 60030(0+000-16+700)	2.47	2.6	5.0	35.4	CASO PARTICULAR	Q4	INDETERMINACION	30
4-3	2	4300202	60030 (16+700-26+100)	4.79	1.5	4.0	31.5	CASO PARTICULAR	Q2	MANTENIMIENTO	45
4-3	3	4300203	60030 (26+100-32+000)	3.05	2.2	4.0	27.2	CASO PARTICULAR	Q2	MANTENIMIENTO	45
4-3	4	4300204	60020, 60012 (0+000-3+700)	4.73	1.6	5.0	30.1	CASO PARTICULAR	Q4	INDETERMINACION	30
4-3	5	4300205	60012 (3+700-8+000)	2.86	2.3	5.0	39.7	CASO PARTICULAR	Q4	INDETERMINACION	30
4-3	6	4300206	60012 (8+000-16+400), 60011 (0+000-5+400)	4.35	1.7	6.0	33.5	CASO PARTICULAR	Q4	INDETERMINACION	15
4-3	7	4300207	60011(5+400-7+600), 60002	3.22	2.2	6.0	39.0	CASO PARTICULAR	Q4	INDETERMINACION	15
4-3	8	4300208	60001 (0+000-9+200)	4.14	1.8	6.0	42.6	CASO PARTICULAR	Q4	INDETERMINACION	15
4-3	9	4300209	60001 (9+200-17+700)	2.52	2.5	5.0	42.6	CASO PARTICULAR	Q4	INDETERMINACION	30
4-3	10	4301401	60251 (0+000-10+800)	4.49	1.6	5.0	32.0	4353	Q4	INDETERMINACION	30
4-3	11	4301402	60251 (10+800-25+000), 60252 (0+000-3+100)	5.68	1.2	5.0	36.1	6475	Q4	INDETERMINACION	30
4-3	12	4301403	60252 (3+100-6+600)	4.36	1.7	3.0	70.7	6475	Q2	MANTENIMIENTO	60
4-3	13	4303401	60094	2.29	2.7	3.0	32.3	1925	Q2	MANTENIMIENTO	60
4-3	14	4322301	60401 (0+000-6+200)	3.83	1.9	2.0	34.0	535	Q1	MANTENIMIENTO	75
4-3	15	4322302	60401 (6+200-7+000),60402	1.78	3.1	1.0	34.0	535	Q1	MANTENIMIENTO	90
4-3	16	4323801	60261, 60262	6.61	0.9	5.0	63.7	3435	Q4	INDETERMINACION	30
4-3	17	4323802	60263	4.70	1.6	3.0	72.0	1304	Q2	MANTENIMIENTO	60
4-3	18	4323803	61042 (0+000-4+300)	4.97	1.5	3.0	38.9	100	Q2	MANTENIMIENTO	60
4-3	19	4323804	61042 (4+300-9+700), 61041	4.24	1.7	4.0	42.9	100	Q2	MANTENIMIENTO	45
4-3	20	4360801	60371 (0+000-3+300)	4.88	1.5	5.0	65.9	1725	Q4	INDETERMINACION	30
4-3	21	4360802	60371 (3+300-6+500)	3.13	2.2	5.0	54.2	1725	Q4	INDETERMINACION	30
4-3	22	4361101	60380	3.64	2.0	4.0	65.7	735	Q2	MANTENIMIENTO	45

ZONA 5-1

ZONA	TRAMO HOMOGÉNEO	CODIGO	SECCIONES DE CONTROL	IRI	PSI	VIZIR	DEFLEXION TRAMO HOMOGÉNEO	TPD del tramo homogéneo	NOTA DE CALIDAD FINAL	ESTRATEGIA DE INTERVENCION	PCI APROX.
5-1	1	5103201	70160 (0+000-5+500)	2.83	2.4	3.0	41.9	CASO PARTICULAR	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-1	2	5103202	70160, 70150, 70142, 70141, 70130, 70090 (0+000-4+500)	2.17	2.8	2.0	40.3	CASO PARTICULAR	Q1	MANTENIMIENTO	75
5-1	3	5103203	70090 (4+500-12+700), 70490	3.75	1.9	5.0	34.5	CASO PARTICULAR	Q4	INDETERMINACION	30
5-1	4	5114901	70100	3.09	2.2	2.0	39.9	5360	Q1	MANTENIMIENTO	75
5-1	5	5124701	70390, 70440	2.44	2.6	3.0	49.0	7350	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-1	6	5124702	70511	4.39	1.7	5.0	45.4	680	Q4	INDETERMINACION	30
5-1	7	5124801	70382 (0+000-1+500)	3.63	2.0	3.0	59.9	2055	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-1	8	5124802	70382 (1+500-8+200), 70381	2.17	2.8	3.0	62.4	2055	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-1	9	5124803	70350 (0+000-4+100)	2.70	2.4	3.0	58.4	2340	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-1	10	5124804	70350 (4+100-6+400)	3.86	1.9	4.0	70.8	2340	Q2	MANTENIMIENTO	45
5-1	11	5124805	70350 (6+400-11+700)	2.45	2.6	3.0	68.5	2340	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-1	12	5180601	70291	1.97	2.9	3.0	45.9	1040	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-1	13	5180901	70372, 70371	5.08	1.4	3.0	76.4	1975	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-1	14	5181001	70361	2.82	2.4	3.0	96.8	1375	Q8	REFUERZO	60
5-1	15	5181002	70362	4.56	1.6	2.0	108.3	1375	Q6	INDETERMINACION	75
5-1	16	5181401	70660	3.66	2.0	3.0	35.1	445	Q2	MANTENIMIENTO	60

ZONA 5-2

ZONA	TRAMO HOMOGÉNEO	CODIGO	SECCIONES DE CONTROL	IRI	PSI	VIZIR	DEFLEXION TRAMO HOMOGÉNEO mm 10 ⁻²	TPD del tramo homogéneo	NOTA DE CALIDAD FINAL	ESTRATEGIA DE INTERVENCION	PCI APROX.
5-2	1	5203201	70070(0+000-4+400)	5.26	1.4	3.0	42.3	CASO PARTICULAR	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-2	2	5203202	70070, 70080, 70471, 70472 (0+000-1+000)	2.30	2.7	5.0	33.3	CASO PARTICULAR	Q4	INDETERMINACION	30
5-2	3	5203203	70472(1+000-9+900)	4.42	1.7	5.0	33.3	CASO PARTICULAR	Q4	INDETERMINACION	30
5-2	4	5203601	70050, 70040 (0+000-5+100)	5.49	1.3	7.0	53.5	2290	Q4	INDETERMINACION	5
5-2	5	5203602	70040 (5+100-13+100)	3.62	2.0	4.0	58.3	2290	Q2	MANTENIMIENTO	45
5-2	6	5203603	70040 (13+100-24+100)	4.97	1.5	4.0	75.0	2290	Q2	MANTENIMIENTO	45
5-2	7	5203604	70040 (24+100-25+032), 70030, 70020 (0+000-1+000)	2.75	2.4	4.0	70.9	2290	Q2	MANTENIMIENTO	45
5-2	8	5203605	70020 (1+000-9+900), 70010	5.36	1.3	4.0	54.0	2290	Q2	MANTENIMIENTO	45
5-2	9	5203606	70002, 70001	2.79	2.4	2.0	35.4	690	Q1	MANTENIMIENTO	75
5-2	10	5223401	70230 (0+000-5+100)	3.93	1.8	3.0	14.1	865	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-2	11	5223402	70230 (5+100-6+700)	5.05	1.4	3.0	10.2	865	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-2	12	5223403	70230(6+700-9700)	3.89	1.9	2.0	12.1	865	Q1	MANTENIMIENTO	75
5-2	13	5224001	70400	2.90	2.3	3.0	36.3	2942	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-2	14	5224002	70410	4.30	1.7	4.0	12.3	7598	Q2	MANTENIMIENTO	45
5-2	15	5224101	70211 (0+000-3+400)	2.90	2.3	3.0	46.8	1010	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-2	16	5224102	70211 (3+400-9+600)	6.58	0.9	3.0	50.1	1010	Q2	MANTENIMIENTO	60
5-2	17	5224103	70212	3.22	2.2	4.0	46.0	1323	Q2	MANTENIMIENTO	45
5-2	18	5280201	70221	5.92	1.2	4.0	50.0	335	Q2	MANTENIMIENTO	45
5-2	19	5280301	70330	4.30	1.7	4.0	76.2	950	Q2	MANTENIMIENTO	45
5-2	20	5280501	70270, 70250	2.74	2.4	2.0	51.7	1470	Q1	MANTENIMIENTO	75
5-2	21	5280502	70540	3.41	2.1	4.0	55.7	2405	Q2	MANTENIMIENTO	45
5-2	22	5280701	70260	3.18	2.2	5.0	56.8	635	Q4	INDETERMINACION	30

ZONA 6-1

ZONA	TRAMO HOMOGÉNEO	CODIGO	SECCIONES DE CONTROL	IRI	PSI	VIZIR	DEFLEXION TRAMO HOMOGÉNEO mm 10 ⁻²	TPD del tramo homogéneo	NOTA DE CALIDAD FINAL	ESTRATEGIA DE INTERVENCION	PCI APROX.
6-1	1	6100401	21351, 21012 (0+000-7+500)	2.57	2.5	3.0	46.51	1475	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-1	2	6100402	21012 (12+200-16+200), 21011 (0+000-3+200)	2.63	2.5	3.0	47.89	2006	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-1	3	6100403	21011 (3+200-13+900)	2.05	2.9	3.0	52.74	2006	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-1	4	6103501	20640 (0+000-2+900)	2.49	2.5	4.0	48.44	2980	Q2	MANTENIMIENTO	45
6-1	5	6103502	20640 (2+900-4+800), 20650 (0+000-1+500)	3.48	2.0	4.0	48.20	2980	Q2	MANTENIMIENTO	45
6-1	6	6103503	20650 (1+500-6+700)	2.53	2.5	4.0	43.46	2880	Q2	MANTENIMIENTO	45
6-1	7	6103504	20650 (6+700-7+800), 21060 (0+000-2+400)	3.06	2.2	4.0	45.03	2880	Q2	MANTENIMIENTO	45
6-1	8	6103505	21060 (2+400-3+700)	2.19	2.7	3.0	44.08	2880	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-1	9	6114001	20661, 20662, 20931 (0+000-7+700)	3.74	1.9	4.0	54.06	CASO PARTICULAR	Q5	INDETERMINACION	45
6-1	10	6114002	20931(7+70010+500), 20932, 21560,21570	2.71	2.4	3.0	61.70	CASO PARTICULAR	Q8	REFUERZO	60
6-1	11	6114101	20980	2.92	2.3	3.0	39.64	1235	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-1	12	6114102	20682, 20681, 20630	3.58	2.0	3.0	45.72	8105	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-1	13	6114103	21550	2.70	2.4	1.0	59.04	4900	Q1	MANTENIMIENTO	90
6-1	14	6114201	21490 (0+00-8+800)	2.09	2.8	2.0	53.20	2420	Q1	MANTENIMIENTO	75
6-1	15	6114202	21490 (8+800-9+700), 21342 (0+000-4+600)	2.74	2.4	1.0	59.23	2470	Q1	MANTENIMIENTO	90
6-1	16	6114203	21342 (4+600-11+500), 21341	2.24	2.7	1.0	63.39	2470	Q1	MANTENIMIENTO	90
6-1	17	6125001	20870, 20671 (0+000-4+400)	3.24	2.1	4.0	59.89	4485	Q2	MANTENIMIENTO	45
6-1	18	6125002	20671 (4+400-8+900)	2.51	2.5	3.0	81.91	2925	Q5	INDETERMINACION	60
6-1	19	6170201	20880, 21750 (0+000-3+400)	3.36	2.1	3.0	40.16	2140	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-1	20	6170202	21750 (3+400-7+100)	5.80	1.2	4.0	35.26	1310	Q2	MANTENIMIENTO	45
6-1	21	6170203	21370, 21760	2.53	2.5	2.0	46.30	990	Q1	MANTENIMIENTO	75
6-1	22	6170801	21542 (0+000-2+800)	3.63	2.0	1.0	48.72	515	Q1	MANTENIMIENTO	90
6-1	23	6170802	21542 (2+800-6+700), 21541	5.44	1.3	1.0	55.81	515	Q1	MANTENIMIENTO	90
6-1	24	6173801	20690	1.92	3.0	1.0	38.00	1430	Q1	MANTENIMIENTO	90
6-1	25	6174501	20962, 20961 (0+000-2+400)	5.92	1.2	3.0	63.08	75	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-1	26	6174502	20961 (2+400-7+700)	7.69	0.6	3.0	64.80	75	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-1	27	6175101	20994	2.64	2.5	4.0	70.24	2275	Q2	MANTENIMIENTO	45

ZONA 6-2

ZONA	TRAMO HOMOGÉNEO	CODIGO	SECCIONES DE CONTROL	IRI	PSI	VIZIR	DEFLEXION TRAMO HOMOGÉNEO	TPD del tramo homogéneo	NOTA DE CALIDAD FINAL	ESTRATEGIA DE INTERVENCION	PCI APROX.
6-2	1	6200401	21012	2.76	2.4	3.0	50.24	1922	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-2	2	6200402	21351, 21352, 20721 (0+000-6+400)	2.76	2.4	3.0	46.73	1922	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-2	3	6200403	20721 (6+400-8+300), 20722, 21021, 21022, 21023, 21024 (0+000-7+600)	3.95	1.8	3.0	58.78	1282	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-2	4	6200404	21024 (7+600-17+600), 21025	3.18	2.2	2.0	68.24	408	Q1	MANTENIMIENTO	75
6-2	5	6200601	21222, 21221 (0+000-11+700)	2.02	2.9	1.0	25.64	1475	Q1	MANTENIMIENTO	90
6-2	6	6200602	21221 (11+700-19+200)	1.89	3.0	1.0	30.73	1475	Q1	MANTENIMIENTO	90
6-2	7	6203501	21060 (3+600-9+400)	2.17	2.8	4.0	42.48	2530	Q2	MANTENIMIENTO	45
6-2	8	6203502	21060 (9+400-11+300), 21071 (0+000-3+000)	2.87	2.3	3.0	37.60	2530	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-2	9	6203503	21071 (3+000-10+700), 21072, 21081 (0+000-4+000)	2.22	2.7	2.0	43.10	2375	Q1	MANTENIMIENTO	75
6-2	10	6203504	21081 (4+000-18+300), 21082 (0+000-2+700)	2.68	2.4	2.0	36.11	1090	Q1	MANTENIMIENTO	75
6-2	11	6203505	21082 (2+700-10+400)	2.03	2.9	1.0	30.71	740	Q1	MANTENIMIENTO	90
6-2	12	6203506	21082(10+700-13+400), 21083	2.40	2.6	2.0	39.43	740	Q1	MANTENIMIENTO	75
6-2	13	6216401	21231 (0+000-5+600)	4.15	1.8	3.0	128.29	310	QF-2	RECONSTRUCCION	60
6-2	14	6216402	21231 (5+600-9+900)	6.32	1.0	1.0	143.51	310	QF-1	RECONSTRUCCION	90
6-2	15	6273401	21360 (0+000-5+600)	5.81	1.2	3.0	41.33	310	Q2	MANTENIMIENTO	60
6-2	16	6273402	21360 (5+600-8+152)	5.67	1.2	4.0	40.97	310	Q2	MANTENIMIENTO	45

La información mostrada en las tablas anteriores 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, 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 podrá 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.

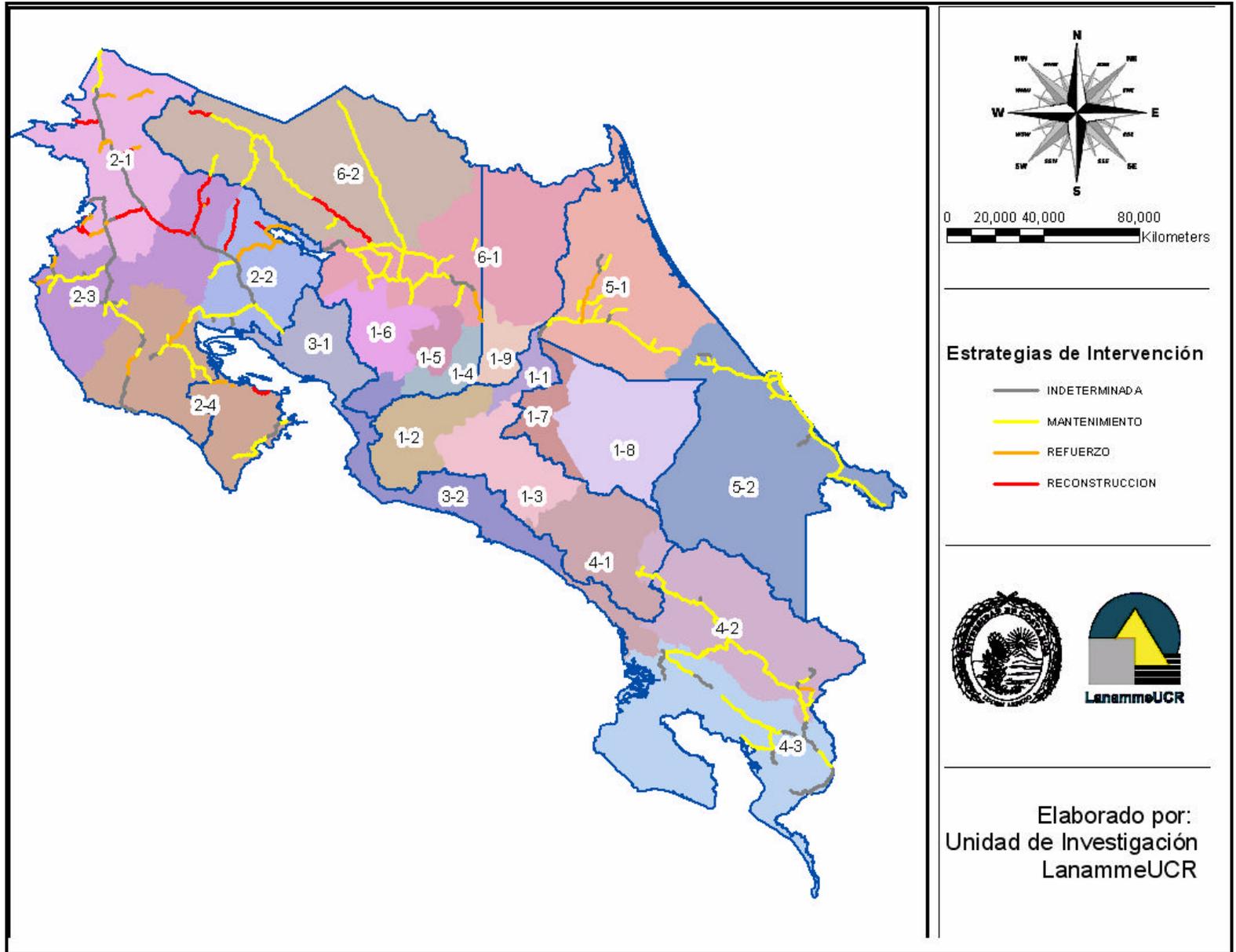


Figura 23: Mapa final de la información generada a octubre de 2008

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 (RECONSTRUCCION) son mandatorias sobre los valores de IRI ya que una intervención distinta a la indicada por la nota Q no sería económica.