

81-07-2013

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS: NOTAS DE CALIDAD (FWD-VIZIR), NOTAS CALIDAD (FWD-IRI) Y PCI, PARA ESCOGENCIA DE TIPO INTERVENCIÓN EN LAS REDES VIALES CANTONALES
COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE: NOTAS DE QUALIDADE (FWD-VIZIR), NOTAS DE QUALIDADE (FWD-IRI) E PCI, PARA ESCOLHER O TIPO DE INTERVENÇÃO NAS REDES RODOVIÁRIAS CANTONAIS

Ing. Eliécer Arias Barrantes

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LanammeUCR
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
eliecer.arias@ucr.ac.cr

Ing. Sharline López Ramírez

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LanammeUCR
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
sharline.lopezramirez@ucr.ac.cr

Ing. Jaime Allen Monge Msc.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LanammeUCR
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
jaime.allenmonge@ucr.ac.cr

Resumen

La red vial cantonal de Costa Rica no posee las mismas demandas estructurales y funcionales que la Red Vial Nacional por lo tanto los parámetros de evaluación utilizados deben ser diferentes. El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica ha utilizado diferentes metodologías para la evaluación de pavimentos, las cuales son: las metodologías de “notas de calidad” para evaluar la red vial nacional y el índice de condición del pavimento (PCI), que consiste en un modelo matemático publicado por el Departamento de Transporte de New Brunswick, utilizado para la evaluación de la red vial cantonal. En este estudio se comparan tres metodologías de análisis utilizadas en Costa Rica, cada una de ellas aplicada a la red vial cantonal de tres diferentes municipalidades. Además en esta comparación se plantean dos escenarios, uno acorde a los requisitos de la red vial nacional y otro acorde a la Red Vial Cantonal para la escogencia de tipos de intervención en la red vial cantonal. Las metodologías utilizadas emplean la información proveniente de conteos vehiculares, sondeos a cielo abierto, deflectometría a partir del deflectómetro de impacto (FWD), mediciones de IRI a partir del perfilómetro inercial láser y evaluaciones a partir de la metodología Francesa de auscultación visual VIZIR. A partir de este análisis se determina que la metodología que mejor se ajusta a las características de la red vial cantonal es la de “notas de calidad” basándose en FWD e IRI, con los parámetros de IRI para Red Vial Cantonal y sienta las bases para realizar un estudio más extenso sobre el IRI en la Red Vial Cantonal.

Resumo

A rede rodoviária cantonal da Costa Rica não tem as mesmas exigências estruturais e funcionais que a rede rodoviária nacional, portanto, os parâmetros de avaliação utilizados devem ser diferentes. O Laboratório Nacional de Materiais e Modelos Estruturais da Universidade de Costa Rica tem utilizado diferentes metodologias para avaliação de pavimento, as quais são: as metodologias de "índices de qualidade" para avaliar a rede rodoviária nacional e índice de condição do pavimento (PCI), o qual é um modelo matemático, publicado pelo Departamento de Transporte de New Brunswick, utilizado para a avaliação da rede rodoviária cantonal. Este estudo comparou três métodos de análise utilizados na Costa Rica, cada um aplicado às estradas da rede cantonal de três municípios diferentes, e nesta comparação foram levantados dois cenários, um de acordo com as exigências da Rede Rodoviária Nacional e o outro de acordo com a rede rodoviária cantonal para a seleção de tipos de intervenção na rede rodoviária cantonal. As metodologias utilizam informações de contagem de veículos, sondagens, resultados do deflexômetro de impacto (FWD), as medições do IRI feitas com equipamentos com sensores laser e avaliações visuais com a metodologia VIZIR francesa. Essa análise determinou que a metodologia mais adequada para as características da rodoviária cantonal são os "índices de qualidade" baseados em FWD e IRI, com os parâmetros do IRI para a rede rodoviária cantonal e fornece a base para fazer um estudo maior sobre o IRI na rede rodoviária cantonal.

INTRODUCCION

Actualmente, a nivel mundial existen diferentes técnicas de evaluación de pavimentos que permiten conocer el estado de la superficie de ruído y del paquete estructural de la carretera, esto se logra mediante el uso de diferentes metodologías y equipos especializados. La idea de conocer el estado funcional de una carretera está muy relacionada con el confort percibido por los diferentes usuarios que transitan por una red vial, pero también está relacionada con los costos de operación, ya que vías con deficiente condición funcional, producen mayores costos económicos y sociales, debido al deterioro de los vehículos, consumo de combustible y tiempos de viaje mayores, pero también acelera el proceso de deterioro estructural dado que en vías irregulares aumentan las cargas dinámicas, provenientes del impacto dinámico de las llantas sobre el pavimento.

La evaluación de la capacidad estructural de un pavimento puede realizarse mediante técnicas destructivas y no destructivas. Las técnicas destructivas consisten en la extracción de muestras, ya sean núcleos para realizar pruebas o la extracción de material para su caracterización; las técnicas no destructivas permiten estimar la capacidad estructural sin necesidad de intervenir una sección de carretera, esto mediante el uso de equipos simples o equipos de alta tecnología.

Para los diferentes entes encargados del mantenimiento, rehabilitación y construcción de carreteras, es muy importante conocer el estado actual de la red vial, para poder tomar decisiones oportunas y con criterio técnico, con el objetivo de optimizar el uso de los recursos públicos. En nuestro país se ha utilizado la metodología VIZIR (Autret e Brousse, 1996) como una herramienta útil en la realización de inspecciones visuales, también se realizan diferentes ensayos de laboratorio para conocer las características de los diferentes materiales que forman parte de un pavimento, así como evaluaciones de la condición funcional y estructural mediante el uso de

equipos como perfilómetro inercial láser y deflectómetro de impacto respectivamente, que dispone el LanammeUCR.

La información recolectada en diferentes estudios ha sido utilizada para proponer intervenciones requeridas a nivel estratégico (López, 2009) y realizar con esto un plan de inversión a mediano plazo para las diferentes rutas evaluadas en el país. Las metodologías de análisis que se han utilizado en nuestro país involucra el usos de evaluaciones mediante la metodología VIZIR, mediciones de IRI (índice internacional de rugosidad) y medición de deflexiones (FWD) en el pavimento.

Uno de los principales factores limitantes, es que muchos de estos métodos de análisis han sido calibrados para los estándares de calidad de la Red Vial Nacional (RVN) (LanammeUCR, 2008), donde los requisitos tanto estructurales como funcionales son muy altos, esto debido a la gran cantidad de vehículos que transitan por estas rutas y al peso de los diferentes vehículos de carga, condiciones que difieren de las observadas en la Red Vial Cantonal (RVC), esto hace necesario conocer cómo varían los resultados obtenidos al aplicar los criterios de evaluación de la RVN sobre la RVC.

DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍAS

Las metodologías que se han utilizado en Costa Rica para realizar la evaluación de la Red Vial Nacional incluyen como parámetros de entrada: la deflectometría, datos de IRI y evaluaciones mediante la metodología VIZIR. El resumen de estas metodologías se describe en los siguientes apartados.

Metodología PCI

El PCI presenta una metodología de evaluación aplicable a pavimentos flexibles y rígidos, esta evaluación se da mediante una escala numérica que toma valores de 0 a 100 como se puede observar en la Tabla 1 (López, 2009). El PCI toma como datos de entrada el IRI, deflexiones en los geófonos D1 (0 mm), D3 (300 mm), D5 (600 mm) y D6 (900 mm), valores de Área (área del cuenco de deflexiones) y PRI (índice de rugosidad del pavimento), máximos y mínimos provenientes de datos históricos. El PCI se calcula según la siguiente expresión matemática.

$$PCI = k_1 * PRI + k_2 * SAI \quad (1)$$

Donde los coeficientes k_1 y k_2 toman el valor de 0,5, lo que indica que tanto la condición estructural como funcional, tienen el mismo peso dentro del modelo. El cálculo del PRI, Área y SAI (adecuación de índice estructural), se puede determinar con las siguientes ecuaciones, donde

$$PRI = 100 \left(\frac{IRI_{max} - IRI_i}{IRI_{max} - IRI_{min}} \right) \quad (2)$$

$$Area = 150 * \left(\frac{D_1 + 2 * D_3 + 2 * D_5 + D_6}{D_1} \right) \quad (3)$$

$$SAI = 100 * \left(\frac{Area_i - Area_{min}}{Area_{max} - Area_{min}} \right) \quad (4)$$

IRI_{max} : IRI máximo según base de datos correspondiente

IRI_{min} : IRI mínimo según base de datos correspondiente

IRI_i : IRI promedio del tramo en estudio

$Area_{max}$: Área del cuenco máxima según base de datos correspondiente

$Area_{min}$: Área del cuenco mínimo según base de datos correspondiente

Área: Área del cuenco promedio del tramo en estudio

Tabla 1: Condición del pavimento según PCI

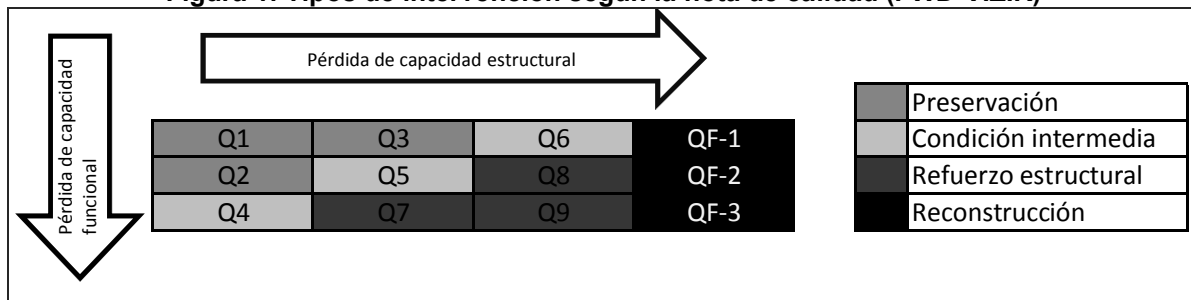
Condición	PCI	Ventana de operación
Muy bueno	80 a 100	Preservación
Bueno	60 a 79	Rehabilitación menor
Regular	40 a 59	Rehabilitación mayor
Pobre	25 a 39	Reconstrucción parcial
Fallado	0 a 24	Reconstrucción total

Metodología notas de calidad (FWD-VIZIR)

Esta metodología utiliza la auscultación visual proveniente de la metodología VIZIR y datos de deflectometría promedio para cada tramo homogéneo. La metodología VIZIR consiste en una herramienta para realizar una evaluación visual de los daños, para catalogarlos como daños estructurales y daños superficiales, para lo cual también contempla la gravedad y dimensión del daño.

Con base en las deflexiones promedio obtenidas y con el índice de daño promedio para cada tramo (al aplicar la metodología VIZIR), se puede realizar una clasificación de los tramos y asignarles una respectiva “nota”, para poder describir de manera más simple el estado actual de la red vial y posibles ventanas de operación.

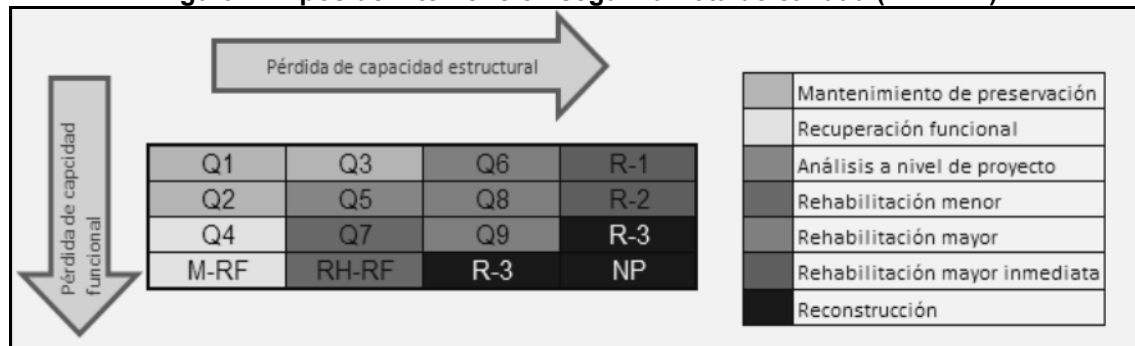
Figura 1: Tipos de intervención según la nota de calidad (FWD-VIZIR)



Metodología notas de calidad (FWD-IRI)

Esta metodología propone una serie matrices que relaciona la deflectometría e IRI, con el estado general de pavimento, estas tablas están en función del TPD y para cada nota de calidad existe una condición general asociada, un ejemplo de esta matriz puede observarse en la siguiente figura (LanammeUCR, 2008).

Figura 2: Tipos de intervención según la nota de calidad (FWD-IRI)



Metodología para la identificación y recolección de información

Selección de Municipios

Las municipalidades seleccionadas para realizar el estudio fueron, la Municipalidad de Tilarán (7,4 km), Montes de Oro (16 km) y Zarcero (18,9 km), ya que se contaba con las evaluaciones necesarias para realizar el estudio, como los son: mediciones de TPD, IRI, FWD y auscultación visual mediante la metodología VIZIR. Cada red vial cantonal (RVC) se subdividió en tramos homogéneos con el fin de determinar secciones de carretera que poseen características similares a nivel estructural.

Escenarios planteados

Para las Notas de calidad (FWD-IRI) fue necesario proponer rangos de IRI cercanos a la realidad de la Red Vial Cantonal (RVC) según literatura internacional y velocidades de operación, ya que actualmente en Costa Rica solo se cuenta con estudios formales enfocados hacia la red vial nacional (RVN).

Los rangos de IRI utilizados para el análisis se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2: Rangos de IRI utilizados

Rangos RVC		Rangos RVN	
Rango	Condición	Rango	Condición
< 3,6 m/km	Bueno	< 1,9 m/km	Bueno
3,6-6,4 m/km	Regular	1,9-3,6 m/km	Regular
6,4-10 m/km	Malo	3,6-6,4 m/km	Malo

> 10 m/km

Muy malo

> 6,4 m/km

Muy malo

Para las Notas de calidad (FWD-VIZIR) se aplicó la metodología de análisis planteada en el proyecto de investigación “Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices red vial nacional” (UI-04-08), realizado por la Unidad de Investigación del LanammeUCR.

Para el PCI se plantearon dos escenarios de análisis, Los valores de área máxima y área mínima utilizados, para aplicar la ecuación 4, en el escenario de Red Vial Cantonal fueron 616,58 mm y 322,48 mm respectivamente. Para el escenario de Red Vial Nacional los valores de área máxima y área mínima fueron 682,07 mm y 279,08 mm respectivamente. En el caso del IRI, los valores máximos y mínimos para el escenario de Red Vial Cantonal fueron 18,2 m/km y 2,1 m/km respectivamente, y en el de Red Vial Nacional fueron de 6,3 m/km y 0,7 m/km.

ANÁLISIS DE RESULTADOS, HALLAZGOS Y OBSERVACIONES

Municipalidad de Tilarán

Metodología PCI

Al aplicar la metodología del PCI con los parámetros establecidos para la Red Vial Nacional se obtiene que un 93% de las rutas analizadas requieren algún tipo de reconstrucción ya que 6,9 km poseen un PCI inferior a 40, según esta clasificación estas rutas se encuentran en un estado de extremo deterioro donde su capacidad estructural es muy baja. Al aplicar esta misma metodología pero modificando los valores máximos y mínimos del Área del cuenco y del IRI para la Red Vial Municipal, se obtiene que un 84% de los tramos analizados posee un PCI entre 40-60, esto implica que 6,1 km de la red analizada necesita una rehabilitación mayor, esto implica trabajos enfocados a recuperar la capacidad estructural del pavimento.

Tabla 3: Distribución de la longitud evaluada según PCI, RVN y RVC, Tilarán

Rango de PCI	Longitud según parámetros de RVN	Longitud según parámetros de RVC
80-100	0 m	0 m
60-80	0 m	499 m
40-60	499 m	6177 m
0-40	6868 m	691 m

Metodología notas de calidad (FWD-VIZIR)

Para esta metodología solo se planteó un escenario (RVN), la cual recomienda que un 50% (3,6 km) de los tramos analizados deben reconstruirse, a un 38% (2,80 km) de los tramos se les debe realizar algún trabajo de mantenimiento para conservar la condición actual y un 12% posee un condición intermedia, asociada a la nota de calidad Q6.

Tabla 4: Distribución de la longitud evaluada según notas de calidad (FWD-VIZIR), Tilarán

Notas de Calidad	Longitud
Q1	738 m
Q3	2019 m

Q6	856 m
QF-1	3576 m

Metodología notas de calidad (FWD-IRI)

Con los parámetros de evaluación para la Red Vial Nacional se logra apreciar que un 56% (4 km) de la distancia evaluada necesita trabajos de reconstrucción en una a más capas, lo que implica que más de la mitad se encuentra en una condición de extremo deterioro, además un 34% (2,5 km) necesita labores asociadas a una rehabilitación menor y un 3%, necesita una rehabilitación mayor, mientras que a un 7% (0,5 km) de la longitud evaluada es apta para que se le realicen trabajos de mantenimiento y preservación, enfocados en mejorar su condición funcional y mantener su condición estructural. Utilizando los parámetros de IRI propuestos en el escenario para Red Vial Cantonal se pueden observar que un 7% (0,5 km) de la longitud evaluada se encuentra en condiciones para trabajos de reconstrucción en una o más capas, mientras que en un 53% de la longitud evaluada (3,8 km) se deben realizar labores de rehabilitación mayor, además un 3% (0,2 km) presenta condiciones para realizar una rehabilitación menor y un 37% (2,8 km) se encuentra en una buena condición por lo que es necesario realizar labores de mantenimiento y preservación.

Municipalidad de Zarcero

Metodología PCI

Aplicando la metodología del PCI bajo los parámetros de RVN, se determinó que a nivel de red un 99% (18,7 km) de los caminos evaluados necesitan algún tipo de reconstrucción. Además solo un 1% (173 m), que corresponde a un tramo corto necesita una rehabilitación mayor. Al aplicar esta misma metodología bajo los parámetros de RVC se determina que solo un 1% (137 m) necesita reconstrucción, mientras que un 29% (5,5 km) son aptos para una rehabilitación mayor, además un 69%, que corresponde a una distancia aproximada de 13 km, se encuentran en condiciones adecuadas para trabajos asociados a una rehabilitación menor y un tramo de 170 m posee características adecuadas para labores de preservación.

Tabla 5: Distribución de la longitud evaluada según PCI, parámetros de RVN y RVC, Zarcero

Rango de PCI	Longitud según parámetros de RVN	Longitud según parámetros de RVC
80-100	0 m	171 m
60-80	0 m	5545 m
40-60	173 m	13030 m
0-40	18710 m	137 m

Metodología notas de calidad (FWD-VIZIR)

Para esta metodología solo se planteó un escenario (RVN), esta demuestra que un 91% (15,5 km) de las rutas evaluadas poseen un alto nivel de deterioro y es necesario realizar reconstrucción de una o más capas, además un 7% (1 km) necesita algún tipo de refuerzo estructural y un 2% (0,4 km) se encuentran en una condición intermedia y es necesario realizar una evaluación más detallada.

Tabla 6: Distribución de la longitud evaluada según notas de calidad (FWD-VIZIR), Zarcero

Nota de calidad	Longitud (m)
Q5	215 m
Q6	217 m
Q7	97 m
Q8	612 m
Q9	429 m
QF-1	4939 m
QF-2	8783 m
QF-3	1580 m

Metodología notas de calidad (FWD-IRI)

Al aplicar la metodología con los parámetros de la Red Vial Nacional se obtiene que un 98% (18,6 km) de las rutas evaluadas son candidatas a reconstrucción en una o más capas además se tiene que un 2% (312 m) son candidatos a trabajos de tipo rehabilitación menor. Al variar los parámetros de análisis a los de la Red Vial Cantonal, se obtiene que un 72% (13,6 km) se encuentran en una condición de deterioro importante donde la acción recomendada es reconstruir una o más capas, además a un 26% (4,9 km) de las rutas evaluadas se le debe realizar una rehabilitación mayor y 312 metros se encuentran en una condición intermedia, identificada con la nota Q5.

Municipalidad de Montes de Oro

Metodología PCI

De los tipos de intervención propuestos bajo la metodología de PCI con los parámetros de la RVN un 95% (15 km) se asocia a una condición deteriorada, donde los trabajos recomendados están relacionados con la reconstrucción de una o más capas de la estructura del pavimento. Al utilizar los parámetros asociados a la RVC se obtiene una mayor distribución en las categorías de PCI, bajo estas condiciones 1,5 km se encuentra con un PCI entre 60 y 80, además 10,8 km poseen un PCI entre 40 y 60, mientras que 3,6 km poseen un PCI entre 0 y 40. Al asociar cada valor de PCI con los tipos de intervención recomendados se obtiene una distribución en la que un 22% (3,6 km) de la red vial analizada necesita algún tipo de reconstrucción, además un 68% (10,8 km) reúne las condiciones necesarias para una rehabilitación mayor y un 10% (1,5 km) posee mejores condiciones y reúne las características adecuadas para realizar una rehabilitación menor.

Tabla 7: Distribución de la longitud evaluada según PCI, parámetros de RVN y RVC

Rango de PCI	Longitud según parámetros de RVN	Longitud según parámetros de RVC
80-100	0 m	0 m
60-80	0 m	1567 m
40-60	797 m	10810 m
0-40	14585 m	3606 m

Metodología notas de calidad (FWD-VIZIR)

Para esta metodología solo se planteó un escenario El resultado de los diferentes tipos de intervención al aplicar la metodología de notas de calidad (FWD-VIZIR) se puede observar en la siguiente figura, donde un 72% (11,5 km) de las rutas evaluadas poseen un bajo nivel de deterioro y es necesario realizar trabajos de preservación para mantener la condición actual, además un 6% (0,9 km) necesita reconstrucción en una o más capas y un 22% (3,5 km) se encuentran en una condición intermedia y es necesario realizar una evaluación más detallada.

Tabla 8: Distribución de la longitud evaluada según notas de calidad (FWD-VIZIR), Montes de Oro

Nota de calidad	Longitud
Q1	6696 m
Q3	5967 m
Q6	2415 m
QF-1	903 m

Metodología notas de calidad (FWD-IRI)

Utilizando los parámetros de la Red Vial Nacional en la metodología de notas de calidad (FWD-IRI), se obtiene que los 16 km evaluados se dividen en un total de seis notas de calidad distintas, donde la mayor cantidad de kilómetros poseen una nota de calidad Q4, seguido de la nota de calidad Q7. Un 79% (12,7 km) se encuentra en condiciones para una rehabilitación menor, un 6% (1 km) para rehabilitación mayor y un 15% (2,3 km) necesita reconstrucción en una o más capas.

Comparación entre las metodologías utilizadas

Resultados generales

En términos generales se observa que la metodología del PCI en ambos escenarios (RVN y RVC) brinda recomendaciones más severas, aunque hay que considerar que la metodología como tal, al usar los valores de varios geófonos, puede detectar problemas en capas inferiores que afectan el valor final de PCI. Además la metodología de Notas de calidad (IRI) solo utiliza la información del primer geófono y es el único indicador de la capacidad estructural.

A pesar de que cada metodología es distinta y por lo tanto las soluciones obtenidas son diferentes, se observa que tanto en el PCI como en la metodología de notas de calidad (FWD-

IRI), la variación de los parámetros del análisis para los escenarios de RVN y RVC, disminuye la severidad de las recomendaciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las ventanas de operación obtenidas utilizando los parámetros de la RVN, tanto para PCI como para las notas de calidad (FWD-IRI) no se ajustan a la realidad municipal costarricense, tanto a nivel funcional como económico.

Los rangos de IRI utilizados para el escenario de RVC se aproximan mejor a la realidad municipal actual y sienta las bases para un aumento en la calidad de forma gradual.

Es recomendable utilizar el método de notas de calidad (FWD-IRI) o PCI basado en parámetros de RVC, ya que presentan mayor congruencia entre las soluciones obtenidas.

Se recomienda utilizar los parámetros de deflectometría y el índice de rugosidad internacional para definir las estrategias de intervención, ya que estos datos son recolectados siguiendo un procedimiento estándar.

Se recomienda utilizar las evaluaciones de la metodología VIZIR como un control interno en las Municipalidades, ya que les permite evaluar la condición de los pavimentos sin la necesidad de equipo especializado, además les permite dar seguimiento a las diferentes inversiones realizadas y evaluar la efectividad de las mismas.

Para el análisis de la RVC se recomienda utilizar la metodología de notas de calidad (FWD-IRI) con los parámetros de IRI seleccionados para la RVC o similares, ya que cada nota de calidad brinda una descripción más detallada de la condición real, además los resultados obtenidos están acordes con la realidad municipal y a la búsqueda de mejorar la calidad de una forma sostenida y gradual.

REFERENCIAS

Autret P, Brousse J. (1996). VIZIR Método con ayuda de computador para la estimación de necesidades en el mantenimiento de una red carretera; Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

López Ramírez, Sharline. Sistema piloto de administración de pavimentos en la Municipalidad de La Unión, Heredia. Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica – San José, Costa Rica. Febrero, 2009.

Orozco Santoyo R. V. Evaluación de Pavimentos con Métodos no Destructivos. Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 2005.

Proyecto N° UI-PC-04-08, Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices de red vial nacional, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), San José Costa Rica. Noviembre, 2008.

Proyecto N° UI-PC-03-08, Variaciones a los Rangos para la Clasificación Estructural de la Red Vial Nacional de Costa Rica. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial (UIIV),

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), San José
Costa Rica. Agosto, 2008.