

Barrantes Jiménez, Roy; Badilla Vargas, Gustavo; Sibaja Obando, Denia
Definición de rangos para la clasificación estructural y funcional de la red vial nacional de
Costa Rica
Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica, vol. 20, núm. 1-2, enero-diciembre,
2010, pp. 109-119
Universidad de Costa Rica
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44170524008>

DEFINICIÓN DE RANGOS PARA LA CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LA RED VIAL NACIONAL DE COSTA RICA

Roy Barrantes Jiménez
Gustavo Badilla Vargas
Denia Sibaja Obando

Resumen

Se presenta una propuesta para la clasificación de rangos que permiten clasificar los resultados de la evaluación de la Red Vial Nacional de Costa Rica (RVN), de acuerdo con su capacidad estructural y funcional.

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

Los rangos son determinados usando el *Método de Vida Remanente* (AASHTO, 1993) el cual correlaciona pérdidas en la vida útil del pavimento con una disminución del número estructural calculado mediante un *factor de condición* (CF).

En el caso de la capacidad funcional, reflejada por el cálculo del índice de regularidad internacional (IRI); se usaron los modelos matemáticos que correlacionan el IRI con el índice de serviciabilidad presente o PSI por sus siglas en inglés, el cual es un índice que cuantifica, de forma matemática, la percepción cualitativa del usuario sobre la calidad del ruedo de la carretera. A partir de esta correlación, se usaron los rangos de clasificación funcional existente para PSI y se propusieron los nuevos rangos de IRI. Estos rangos son aplicables para pavimentos flexibles y permiten calificar la capacidad estructural de la RVN, tomando en cuenta sus características de Tránsito Promedio Diario (TPD), representando una mejora importante en la evaluación de las rutas, ya que son de fácil aplicación y evidencian un estado estructural y funcional más acorde con la realidad nacional.

Palabras claves: IRI, VIZIR, red vial, índices, estrategias.

Abstract

This document presents the result of a study to define the ranges for the structural and functional classification of the National Road Network of Costa Rica.

Due to the fact that the routes that compose the National Road Network of Costa Rica, differ among them by their importance, structure, and the vehicle composition. Exists a clear need to group them and use a set of specific ranges of deflections and IRI that match the characteristics of every subgroup.

In order to define the ranges of the structural capacity, analyses of traffic and over 60 structural designs and structural numbers were calculated for the typical pavements of Costa Rica. By the use of the “remaining life” method (AASTHO-93) it was possible to calculate the “condition factors” that allowed to correct the structural numbers found. Finally by the use of a “back calculation” method was possible to find the correspondent deformations and the new set of ranges.

For the functional capacity (IRI) the models that correlate the Present Serviceability Index with the superficial regularity were used, and using also the ranges defined for PSI by AASHO was possible to create a new set of ranges for national evaluation of the road network.

Keywords: IRI, indexes, VIZIR, strategies.

Recibido: 23 de noviembre de 2009 • **Aprobado:** 21 de setiembre del 2010

1. PROCEDIMIENTO PARA LA DEFINICIÓN DE RANGOS DE CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL

Debido a que en la Red Vial de Costa Rica no existen bases de datos confiables sobre los tipos

de estructuras de los pavimentos, características de los materiales constitutivos, niveles de tránsito vehicular, entre otras, fue necesario definir ciertas variables de diseño con criterios que fueran objetivos y lo más representativos posibles de una red vial con graves carencias de información. Tomando en consideración estas limitaciones, se

siguió la metodología mostrada en la Figura 1, para definir los rangos que permitan calificar las rutas, tanto estructural como funcionalmen

2. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO

2.1. Periodo de diseño

Se consideró un periodo de falla estructural de quince 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.

2.2. Nivel de confianza

Para realizar los diseños correspondientes, se utilizaron niveles de confianza del 90 % para las rutas consideradas como principales y del 80 % para aquellas de menor volumen, de acuerdo con las posibilidades descritas en la guía de diseño AASHTO-93, y se calcularon valores de nivel de confianza $Z_R = -1,282$, $Z_R = -0,841$ y desviación estándar $So = 0,45$ respectivos. Estas variaciones se aplicaron al paquete estructural considerado como representativo de la Red Vial Nacional.

2.3. Paquetes estructurales modelados

En los modelos utilizados se incorporó un paquete estructural que contenía una base estabilizada con concreto hidráulico de espesores mínimos que según la literatura puede oscilar entre 15 cm y 20 cm aproximadamente. El módulo inicial de esta base corresponde a 610 000 psi considerado así para una base estabilizada tipo BE-25 al 100 % de vida remanente. Ya que no existe aún un modelo de deterioro para bases estabilizadas en el país se modificó el valor del módulo de forma progresiva, mediante un método iterativo y considerando una pérdida de capacidad al 60 % de vida remanente que se concentra en

la base estabilizada donde los esfuerzos de tensión son mayores; posteriormente, al 20 % de vida remanente se modeló una disminución tanto en la capa de ruedo como en las capas de base y sub-base, de esta forma se calcularon los nuevos rangos de deflexiones considerando una capa de base estabilizada.

3. DEFINICIÓN DE RUTAS REPRESENTATIVAS

En el análisis estadístico realizado se logró demostrar que los rangos representativos de tránsito para el país correspondían a los mostrados en el Cuadro 1.

Esto permitió definir combinaciones de TPD y porcentajes de pesos representativos estadísticamente de cada subgrupo y de cada nivel de deflexiones, por lo tanto, para esta variante de rangos se tomaron aquellas combinaciones que correspondían a las deflexiones mayores.

4. CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE LA GUÍA DE DISEÑO (AASHTO, 1993)

Para el cálculo del número estructural (SN) se utiliza la ecuación (1) de la (AASHTO, 1993)

Donde:

$$Z_R \quad -1,282 \text{ (90 \% de nivel de confianza)}$$

$$Z_R \quad -0,841 \text{ (80 \% de nivel de confianza)}$$

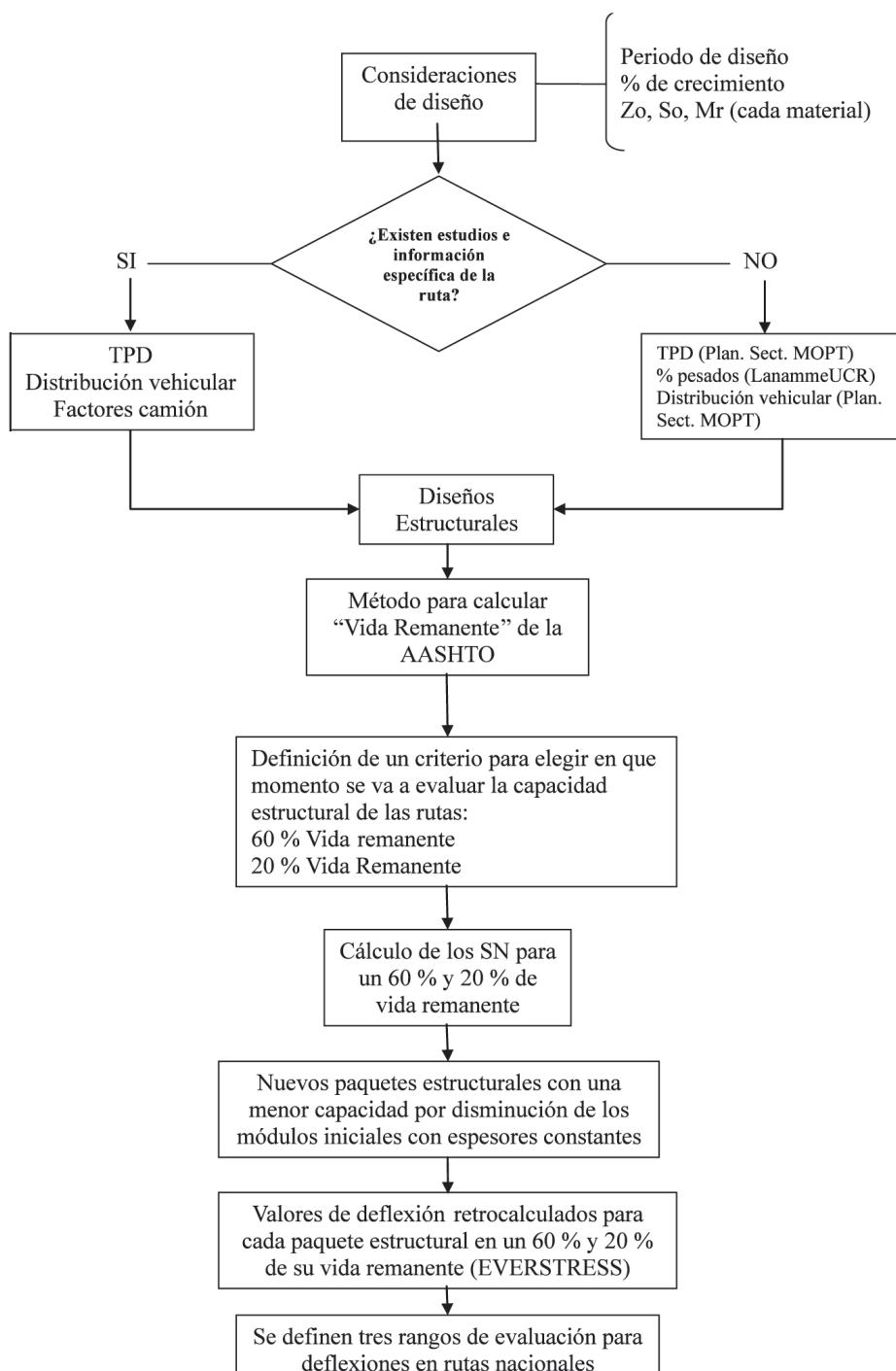
$$So \quad 0,45 \text{ (desviación estándar)}$$

$$SN \quad (\text{número estructural})$$

$$\Delta PSI = 2,7 \text{ (variación del índice de serviciabilidad presente)}$$

$$M_R \quad 8\,500 \text{ psi} \text{ (Es el módulo de la subrasante supuesto para todas las rutas diseñadas)}$$

Para los valores de los ESAL's (W_{18}) mostrados en la ecuación (1), se calculó el número estructural correspondiente al 100 % de Vida Remanente, los valores se muestran en el Cuadro 2.

**Figura 1.** Esquema la metodología para el cálculo de los rangos de deflexiones.

Fuente: (Los autores y la autora, 2009).

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_o + 9,36 \cdot \log_{10}(SN+1) - 0,2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10}(M_R) - 8,07 \quad (1)$$

Cuadro 1. Comparación del número estructural para los ESAL's 1 de diseño.

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

¹ Ejes equivalentes de diseño, por sus siglas en inglés.

Fuente: (Los autores y la autora, 2009).

Cuadro 2. Comparación del 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

Fuente: (Los autores y la autora, 2009).

5. 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 % y al 20 % de Vida Remanente. Numerosos

estudios demuestran que 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.

Cuadro 3. Comparación de la variación del Número Estructural con respecto a la reducción de Vida Remanente

Rangos de tránsito promedio diarios por ruta	Vida Remanente con base estabilizada				Vida Remanente con variantes. 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
5 000 – 15 000	4,72	4,34	3,59	2,36	3,93	3,61	2,97	1,96
15 000 – 40 000	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

Fuente: (Los autores y la autora, 2009).

Cuadro 4. 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
Sub base	103	15 000	103	15 000
Subrasante	59	8 500	59	8 500

Fuente: (Los autores y la autora, 2009).

Para determinar las deflexiones características para un 60 % y un 20 % de Vida Remanente, se mantuvieron constantes los espesores supuestos de las capas 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.

6. 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 40 000 N aplicada en un área de contacto circular de 15 cm de radio, lo cual equivale a una presión de 566 kPa

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 el Cuadro 5.

Una vez realizadas las modificaciones, se generaron las distintas opciones de rangos para la evaluación de la red vial nacional, que se muestran en la Figura 2.

7. DETERMINACIÓN DE LOS RANGOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FUNCIONAL POR MEDIO DEL IRI

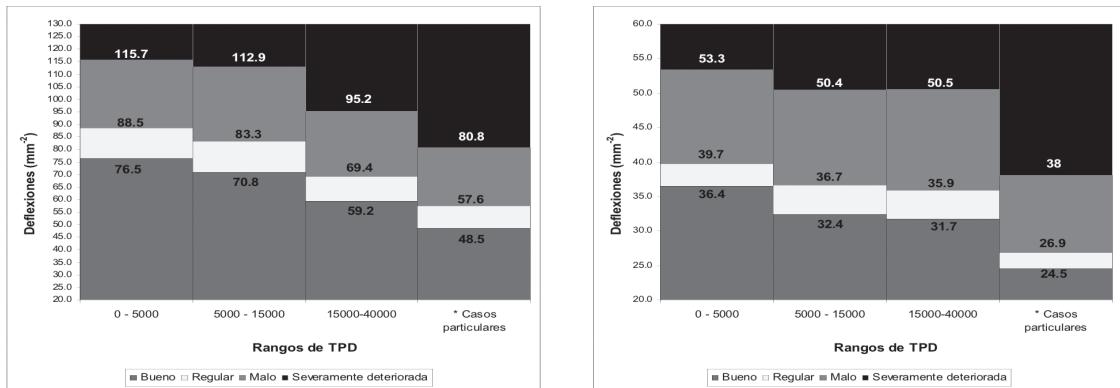
Para definir rangos que pudieran reflejar la condición funcional de las rutas nacionales de forma objetiva, se analizó la fundamentación técnica que dio origen al concepto de IRI, y se aplicaron las correlaciones existentes con otros índices, aceptados internacionalmente, que describen la condición funcional de las rutas (serviciabilidad) considerando tanto la rugosidad de los pavimentos, como los deterioros existentes.

Uno de los principios fundamentales considerados por la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) en el desarrollo de la Guía de

Cuadro 5. 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
5 000 – 15 000	65,1	70,8	83,3	112,9	31,3	32,4	36,7	50,4
15 000 – 40 000	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

Fuente: (Los autores y la autora, 2009).



Diseño Estructural de Pavimentos (AASHTO, 1993) es la relación existente entre los conceptos de serviciabilidad y desempeño. De acuerdo con estos conceptos, el pavimento existe para brindar confort y seguridad a los usuarios; por consiguiente, el desempeño de un pavimento debería ser cuantificado en términos de su serviciabilidad.

La AASHTO desarrolló en 1962, por medio de experimentación en el “tramo de prueba de escala natural” una definición de serviciabilidad de un pavimento, denominada como *Present Serviciability Rating* (PSR). El cálculo de este índice se realizó mediante una apreciación subjetiva sobre la calidad de rodado, realizado por un grupo de personas que formaron parte de un panel evaluador. De esta evaluación subjetiva surgió una escala de clasificación que calificó la calidad de ruedo con valores entre 0 (intransitable) y 5 (excelente).

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 del 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 las siguientes ecuaciones (2) y (3).

Para pavimentos asfálticos:

$$\text{PSI} = 5,03 - 1,91 \cdot \log(1 + \text{SV}) - 1,38 \cdot D^2 - 0,01 \cdot (C + P)^{0,5} \quad (2)$$

$$\text{PSI} = 5,41 - 1,78 \cdot \log(1 + \text{SV}) - 0,09 \cdot (C + P)^{0,5} \quad (3)$$

Para pavimentos de concreto hidráulico:

Donde:

- SV Varianza de la pendiente longitudinal (*Slope Variance*) medida con un perfilómetro CHLOE, $\text{rod } x 10^{-6}$ (in/ ft^2)
- RD Ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, in
- C Superficie agrietada, $\text{ft}^2/1000 \text{ ft}^2$, en asfalto
- C Longitud total (transversales y longitudinales) de grietas, selladas o abiertas, $\text{ft}^2/1000\text{ft}^2$, en hormigón
- P Superficie bacheada, $\text{ft}^2/1000 \text{ ft}^2$

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 se definieron las ecuaciones (4) y (5).

Para pavimentos asfálticos:

$$\text{PSI} = 5 - 0,2937X^4 + 1,1771X^3 - 1,4045X^2 - 1,5803 \quad (4)$$

$R^2 = 95\%$

Para pavimentos de concreto hidráulico:

$$\text{PSI} = 5 + 0,6046X^3 - 2,2217X^2 - 0,0434X \quad (5)$$

$R^2 = 96,5\%$

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 (6).

$$\text{SV} = 2,2704 \cdot \text{IRI}^2 \quad (6)$$

$R^2 = 98,8\%$

Combinando las ecuaciones (4) y (6) para pavimentos flexibles y las ecuaciones (5) y (6) para pavimentos rígidos, es posible obtener modelos que correlacionen PSI e IRI con un alto grado de confianza.

Otros modelos propuestos por (Al-Omari & Darter, 1994) son los mostrados en las ecuaciones (7) y (8).

Al –Omari y Darter para pavimentos flexibles, ecuación (7)

$$\text{PSR} = 5 \cdot e^{(0,24 \cdot \text{IRI})} \quad (7)$$

$R^2 = 73\%$

Al –Omari y Darter para pavimentos rígidos, ecuación (8)

$$\text{PSR} = 5 \cdot e^{(-0,242 \cdot \text{IRI})} \quad (8)$$

$R^2 = 73\%$

De los modelos antes descritos, se eligen, para la determinación de los rangos de IRI, los representados por la ecuación (7) y ecuación (8) por sus coeficientes de variación R^2 más altos, combinados con la ecuación (9). De esta forma, mediante el uso de los modelos mostrados, 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 por la AASHO en 1962.

Los rangos propuestos se muestran en la Figura 3 y permiten clasificar las rutas por su condición funcional considerando valores de rugosidad (IRI) y de serviciabilidad (PSI).

CONCLUSIONES

1. El estudio realizado demostró que era necesario clasificar con distintos rangos de deflexiones, las rutas de la Red Vial Nacional, ya que cada ruta tiene características muy distintas en términos de tránsito promedio diario, distribución vehicular y factores camión. Las exigencias en términos estructurales (deflexiones) deben ser acordes con la importancia de la ruta, en términos de las características del espectro de carga mencionadas. Las rutas de mayor importancia deben ser evaluadas con rangos de deflexiones más rigurosos que aquellas de menor importancia.

Pavimentos flexibles Modelo de (AASHO)			Pavimentos rígidos Modelo (AASHO)			Calificación	Descripción AASHO
Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI	Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI		
5,0	0,0	0-10	5,0	0	0-1,4	Muy buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficientemente 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 buenos.
4,2	0,8		4,5	0,97			
4,0	1,0		4,0	1,4			
3,0	1,9	1,0-1,9	3,0	2,3	1,4-2,3	Buena	Los pavimentos de esta categoría si bien no son tan buenos como los "Muy buenos", entregan un manejo de primera clase o muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desprendimientos y fisuras menores.
2,5	2,6	1,9-3,6	2,5	2,9	2,3-3,6	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a los de los pavimentos nuevos y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales pueden incluir ahueamiento, parches agrietamientos. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo de finos.
2,0	3,6		2,0	3,6			
1,5	4,9		1,5	4,6			
1,0	6,4	3,6-6,4	1,0	6,0	3,6-6,0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos libres pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamientos, ahueamientos y ocurre en un 50 % o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconches de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
0,0	9,5	>6,4	0,0	11,2	>6,0	Muy mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos pueden pasar a velocidades reducidas y considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75 % o más de la superficie.

Figura 3. Rangos y valores característicos de IRI en función del PSI.

Fuente: (Los autores y la autora, 2009).

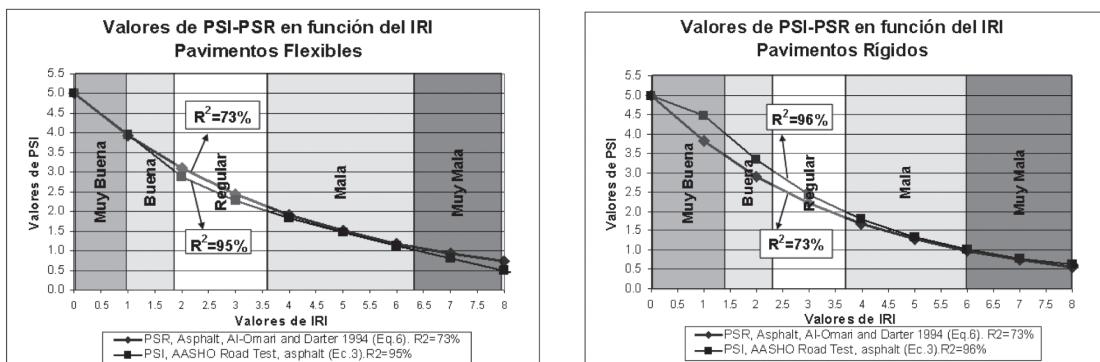


Figura 4. Rangos de IRI para pavimentos rígidos. Modelo de correlación con PSI.

Fuente: (Los autores y la autora, 2009).

2. Los rangos de deflexiones propuestos, permiten calificar la capacidad estructural de la Red Vial Nacional tomando en cuenta sus características de tránsito promedio diario. Para el tipo y cantidad de información disponible sobre el tránsito en Costa Rica, el análisis realizado evidenció que el TPD es uno de los parámetros que mejor refleja las diferencias que existen entre las distintas rutas nacionales y por lo tanto puede ser utilizado para elegir cuál rango de deflexiones es aplicable a cada ruta.
3. Es importante señalar que es necesario conocer la distribución del Tránsito Promedio Diario (TPD) a lo largo de la ruta para establecer el rango de deflexiones que corresponde a un determinado tramo dentro de esta.
4. Los rangos propuestos para clasificar los datos de IRI tienen como objetivo mejorar la calificación funcional de la red, por medio de su relación con el índice de serviciabilidad presente (PSI). Se utilizaron modelos matemáticos que permitieron correlacionar con un alto nivel de confianza, los valores de IRI con los de PSI, y de esta manera establecer distintos rangos de rugosidad tanto para pavimentos rígidos como flexibles, rangos que pueden asociarse con un nivel de serviciabilidad ya establecido por la AASHTO, en sus estudios iniciales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). (1993). *Guide for design of pavement structures*. Washington, D. C.
- Al-Omari, B. & Darter, M. (1994). *Relationships between international roughness index and present serviceability ratings*. In: Transportation Research Council, Washington, D. C.
- Badilla, G., Ulloa, A., Allen, J. & Sibaja, D. (2007). *Encuesta de carga en pavimentos de Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica, Unidad de Investigación, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME).
- Hall, K. & Correa, C. *Estimation of present serviceability index from international roughness index*. In: Transportation Research Record 1655, TRB, National Research Council. Paper No. 99-1508. Washington, D. C.
- LANAMME (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales). (2004). *Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada*. San José: Universidad de Costa Rica.

LANAMME (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales). (2006). *Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada*. San José: Universidad de Costa Rica.

Solminihac, H. (1998). *Gestión de infraestructura vial*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.

SOBRE LOS AUTORES Y LA AUTORA

Roy Barrantes Jiménez

Ingeniero
Unidad de Investigación en Infraestructura Vial
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica.

Teléfono: (506) 2511-2507

Correo electrónico: rbarrantes@lanamme.ucr.ac.cr

Gustavo Badilla Vargas

Ingeniero. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica.
Teléfono: (506) 2511-4994
Correo electrónico: gustavo.badilla@ucr.ac.cr

Denia Sibaja Obando

Ingeniera. Soporte técnico, Caminos
Proyecto Hidroeléctrico Ampliación Cachí
Cachí, Cartago.
Teléfono: (506) 88473432 / (506) 25581500
extensión 9003
Correo electrónico: DeSiba@ice.go.cr

