

Boletín Técnico

PITRA-LanammeUCR

Volumen 10, N.º 2, Febrero 2019

RANGOS DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL Y SU IMPACTO EN LAS VENTANAS DE OPERACIÓN

Ing. Cristian Valverde Cordero
christian.valverde@ucr.ac.cr

Ing. Roy Barrantes Jiménez, Coordinador
roy.barrantes@ucr.ac.cr

Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional

I. INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial de cada país se encarga de potenciar o lentificar sus capacidades en ámbitos tan diversos como la salud, educación, energía, transporte, comercio, turismo entre otros. En los países desarrollados se ha llegado a concluir que una buena infraestructura vial es de suma importancia para el crecimiento tanto económico como social de las regiones, por lo que ha tomado gran relevancia el enfocar esfuerzos y propiciar el desarrollo de sistemas y metodologías que optimicen los recursos para lograr que los caminos cumplan su función en su máxima capacidad.

En Costa Rica se invierte cerca de 95 mil millones anualmente en labores de conservación y mantenimiento de vías, en cerca de 5200 km, de los cuales un 24.15% de la inversión es catalogada como ineficiente, puesto que no consigue los efectos deseados para la recuperación de la condición de las vías nacionales. Una de las causas principales que puede estar generando este resultado es la aplicación incorrecta de labores de conservación / mantenimiento en rutas donde lo que efectivamente se requiere son actividades de rehabilitación o reconstrucción.

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es uno de los parámetros más estudiados y objetivos para la evaluación de pavimentos, permitiendo su relación con el confort del usuario, costos de operación y el deterioro de la estructura del pavimento en el tiempo, por lo que es de vital importancia, contar con una adecuada clasificación de los valores de este indicador según la realidad que presenta la Red Vial Nacional de Costa Rica.

II. ANTECEDENTES

Dado el creciente deterioro de la superficie de rodamiento de la Red Vial Nacional en los últimos años, se ha incentivado el estudio del problema desde varios enfoques situando este creciente deterioro como un tema de interés común que debilita el desarrollo del país.

Para la evaluación de pavimentos se puede considerar dos indicadores principales que permiten conocer el estado de este; el primero es desde el punto de vista estructural, el cual se relaciona con la capacidad de la carretera a soportar las cargas del tránsito vehicular y el segundo, es desde la perspectiva funcional, relacionado con el confort del usuario al transitar sobre la carretera y costos de operación vehicular. En el año 2008, en el LanammeUCR, se generó un documento titulado Red Vial Nacional. Desarrollo de Herramientas de Gestión con Base en la Determinación de Índices (Proyecto N° UI-04-08), en el que se responde en primera instancia a la necesidad de establecer herramientas que sirvan de apoyo para la creación de un sistema de administración de infraestructura en Costa Rica. En este documento se desarrolló una metodología que define estrategias de intervención a nivel de red, usando como base el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Método Vizir desarrollado en Francia, definiéndose tramos homogéneos de

Comité Editorial 2018:

· Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD, Coordinador General PITRA, LanammeUCR

· Ing. Raquel Arriola Guzmán, Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA, LanammeUCR

PITRA

Programa de
Infraestructura del Transporte

carretera en los cuales se calcularon otros índices tales como el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en inglés), el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y notas de calidad Q. Una vez conformada una base de datos de caracterización funcional, estructural y superficial, se establecieron estrategias de intervención en cada tramo homogéneo, por lo que es de gran relevancia hacer un análisis integral del pavimento. (Barrantes J. & Valverde C., 2018). A nivel internacional se ha desarrollado investigación que permite relacionar el efecto que pueda generar los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) del pavimento a los usuarios de las vías, logrando desarrollar herramientas que permiten comprender mejor el comportamiento de estos a la hora de querer utilizar las diferentes estrategias de conservación de pavimentos para realizar intervenciones que permiten extender la vida útil de las carreteras. En Costa Rica se realizó una tropicalización del modelo PSI desarrollado por la AASHTO, en donde se realiza una correlación entre la rugosidad del Pavimento (IRI) y la sensación de confort del usuario. Como resultado de este proceso de investigación se desarrolló una ecuación de PSI para Costa Rica (Barrantes J., Loría S., Ávila E., & Valverde C., 2010).

$$PSI_{CR} = 0,018IRI^2 - 0,5IRI + 5,074$$

En relación con los costos de operación vehicular, el cual es un parámetro que refleja de forma más directa la relación entre los distintos valores del IRI con que cuenta la carretera y el efecto que éstos generan al usuario, se han desarrollado factores que permiten traducir los valores de este índice en el impacto económico que representan para los usuarios que transitan por las distintas vías del país. Para cuantificar este efecto, el Departamento de Transportes de Minnesota desarrolló factores que muestran el incremento de los costos operativos según el valor de IRI o PSI (Barnes & Langworthy, 2003).

Para el cálculo de estos factores se consideraron:

- Consumo de combustible
- Mantenimiento rutinario
- Llantas
- Reparaciones
- Depreciación

Uno de los resultados que se desprenden de este estudio se pueden resumir en la Tabla 1, en la que se muestra la relación que existe entre el PSI o IRI y el incremento en los costos de operación reflejando que, para este caso, los valores superiores a 2 empiezan a experimentar incrementos considerables de esta variable, afectando de forma directa la economía del usuario.

Tabla 1. Efecto de la rugosidad del pavimento en los costos de operación

PSI	IRI (m/km)	Factor Ajuste
< 2	2.7	1.25
2.5	2.2	1.15
3	2.2	1.05
> 3.5	1.2	1

Fuente: Adaptado (Barnes & Langworthy, 2003)

III. PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE RANGOS DE VALORES DE IRI

Dada la importancia que tiene los valores de IRI y su impacto en las labores de conservación y mantenimiento es que se presenta una propuesta de modificación de esos rangos a partir de una consulta a expertos utilizando el Método Delphi, el cual consiste en la utilización sistemática de un juicio emitido por un grupo de especialistas de manera anónima (para evitar el efecto de "líderes"), sistemática y por medio de una retroalimentación controlada, es decir este método se deriva de la interrogación a profesionales especializados con la ayuda de cuestionarios sucesivos, con el objetivo de poner de manifiesto convergencias de opinión y deducir eventuales consensos. Este es un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo. (Astigarraga). Al obtener una redefinición de nuevos rangos de la condición funcional mediante el parámetro del IRI, se podrá conocer de mejor manera el indicador funcional de los pavimentos según las características con las que cuente cada ruta de la Red Vial Nacional, creando un modelo más detallado, objetivo y técnico a la hora de definir las actividades de conservación vial necesarias para mejorar o mantener la condición de los pavimentos. En la actualidad se cuenta con rangos establecidos a través de una correlación entre los valores de IRI y el Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI), el cual se obtiene por medio de una ecuación definida por la American Association of State Highway and Transportation Officials que surge a partir de un estudio realizado en una pista a escala natural considerando la percepción de los usuarios.

El problema que presentan estos rangos, utilizados en Costa Rica, es que en algunos casos son muy amplios lo que hace que la calificación de distintas secciones de control (tramos de carreteras) por medio del IRI sea muy imprecisa. En otras palabras, dos secciones de carreteras completamente diferentes pueden ser calificadas dentro del mismo grupo o rango de IRI aunque funcionalmente existan diferencias significativas entre cada uno de ellas; por ejemplo, una sección con un valor de IRI de 1.9 será calificada dentro del mismo grupo funcional que otra sección con un IRI de 3.6 lo cual induce un error de calificación significativo, siendo ambos valores muy distintos en cuanto a su capacidad funcional.

Del análisis estadístico realizado sobre la totalidad de los datos de IRI de la evaluación de la Red Vial Nacional, un total de doscientos cuarenta y nueve mil treinta y cinco datos (249.035) acumulados en las evaluaciones 2008, 2010, 2012, 2014 y 2016; muestran una gran concentración de datos entre los rangos de 1.9 y 6.4.

De esta forma, se determinó que entre el rango de 1.9 a 3.6 se acumulan alrededor del 40% de los datos y entre el rango 3.6 a 6.4 un total de 33% de los datos.

Es de gran relevancia resaltar que en este rango de valores se encuentra concentrado alrededor de 19 900 puntos de análisis, los cuales representan el 40% de los datos de evaluación de la Red Vial Nacional, por tal motivo es necesario definir de una mejor manera la clasificación que se le asigne, puesto que según la clasificación que tenga cada punto, así se le definirá el tipo de intervención de mantenimiento que le corresponda, ya que como lo muestra Barnes & Langworthy (2003), las pequeñas variaciones que se pueden generar en ese indicador, pueden implicar un efecto significativo en los costos de operación vehicular. Como resultado obtenido a partir de la herramienta utilizada, se presenta la redefinición de nuevos rangos de IRI para evaluación de la Red Vial Nacional mostrados en la Tabla 2:

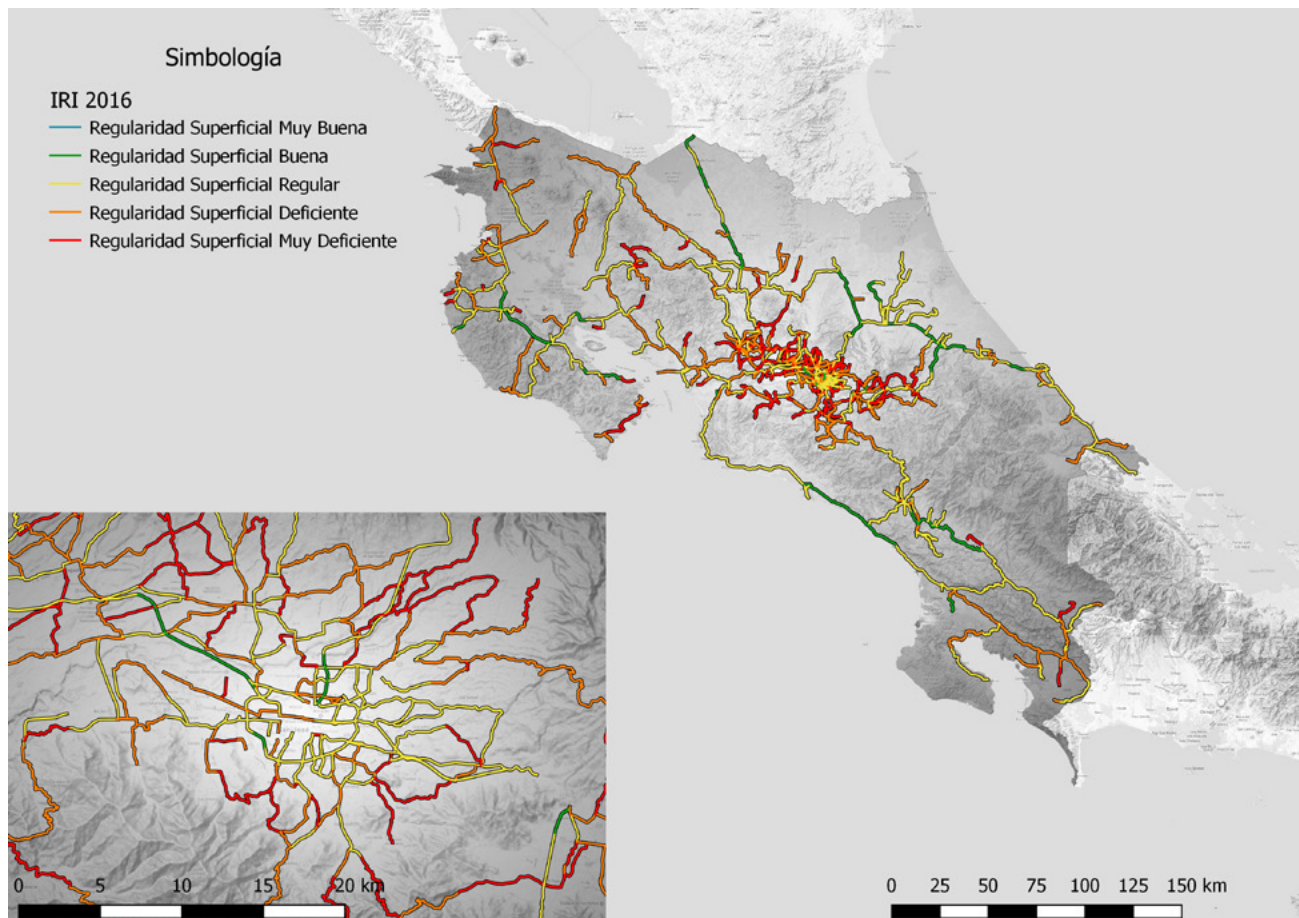
Tabla 2. Resumen resultados Método Delphi

Experto	TPDA	Muy Bueno	Bueno	Regular	Deficiente	Muy Deficiente	Fallado
Val. Actual		1,00	1,90	3,60		6,40	10
Experto 1a	>5000	1,00	2,00	2,70	3,50	5,50	10
Experto 2	N/A	1,50	2,50	3,50	4,00	5,00	
Experto 3	N/A	1,99	3,21	3,65	3,70	6,00	10
Experto 4	N/A	1,00	1,90	2,70	3,60	5,00	6,4
Promedio		0 - 1,40	1,40 - 2,40	2,40 - 3,10	3,10 - 3,90	3,90 - 5,50	>5,50

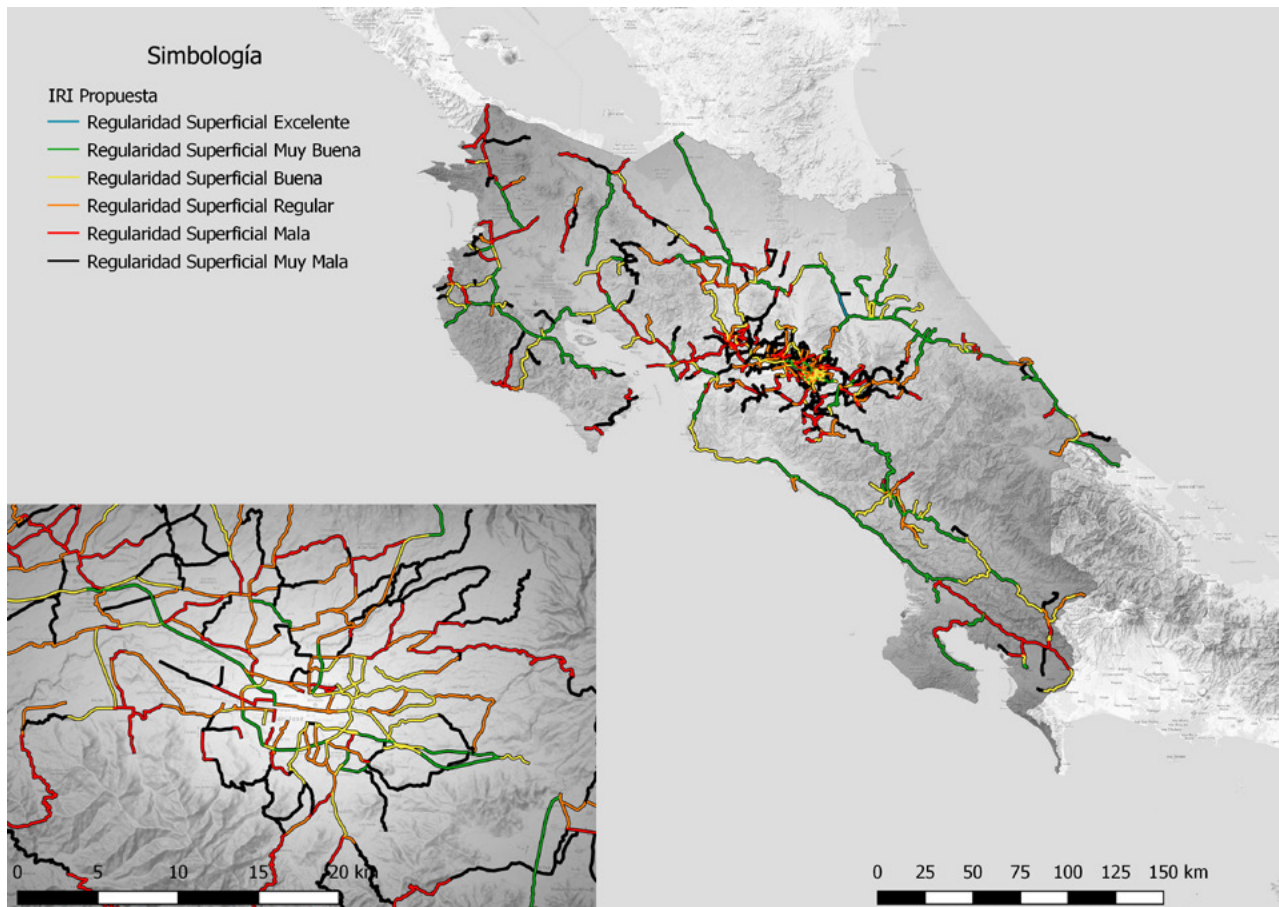
Fuente: Elaboración propia, 2018

En el gráfico mostrado en la Figura 1, la línea de color rojo representa los rangos actuales con los que se ha estado evaluando la Red Vial Nacional en términos de su capacidad funcional y la línea de color negro representa el promedio de cada rango propuesto por los expertos. Se puede notar que la distribución propuesta representa mejor el comportamiento de la Red Vial de Costa Rica, ya que permite clasificar mejor la condición funcional, logrando escoger de manera más acertada el tipo de intervención que requieren los tramos de carretera.

A partir de los resultados obtenidos con esta encuesta, se realizará una reestructuración a las notas de calidad actuales para redefinirlas y crear nuevas notas Q que logren mejorar la selección de las estrategias de intervención a utilizar de una forma más eficaz. En la Figura 1 se puede observar una comparación entre los rangos de IRI actuales (a) y los propuestos (b), resaltando como ejemplo la Zona de la GAM en el recuadro ubicado en la parte inferior izquierda. Se puede apreciar como la distribución de los valores intermedios cuyas Categorías eran Bueno y Regular y se han distribuido entre Bueno, Regular y Deficiente, teniendo más relevancia los límites planteados para cada categoría, tal como se mostró en la Tabla 2. De forma general, se puede notar una reagrupación de rutas que pueden tener un comportamiento más homogéneo en lo que a la capacidad funcional se refiere.



a)



b)
 Figura 1. Distribución de Categorías. a) Categorías Actual, b) Categorías Propuestas
 Fuente: Elaboración propia, 2018

Con la conformación de estas nuevas categorías, es necesario realizar un análisis detallado de las Notas de Calidad Q con las que se cuenta actualmente, ya que al incrementarse la cantidad de subdivisiones en la clasificación del IRI, se incrementan las posibles combinaciones entre las categorías definidas para la condición estructural y la condición funcional; es por esto que en la Tabla 3 se muestra la nueva definición de notas de calidad pasando de 16 Notas Q con las que se cuenta en este momento a 24 notas que resultan de esta propuesta.

Tabla 3. Redefinición Notas de Calidad Q

Rangos de TPD		Límites de los valores de deflexión (10 ⁻² mm)			
0 - 5 000		← 76,5	88,5	115,7 →	
		BAJAS	MODERADA	ALTAS	MUY ALTAS
5 000 - 15 000		← 70,8	83,3	112,9 →	
		BAJAS	MODERADA	ALTAS	MUY ALTAS
15 000 - 40 000		← 59,2	69,4	96,2 →	
		BAJAS	MODERADA	ALTAS	MUY ALTAS
Casos Especiales		← 48,5	57,6	80,8 →	
		BAJAS	MODERADA	ALTAS	MUY ALTAS

		INDICADOR ESTRUCTURAL	CATEGORÍAS DE FWD			
			BAJAS	MODERADA	ALTAS	MUY ALTAS
Rangos de IRI (m/Km)	< 1,4 (Excelente)	▶	Q1	Q2	Q13	Q14
	1,4 - 2,4 (Muy Bueno)	▶	Q3	Q4	Q15	Q16
	2,4 - 3,1 (Bueno)	▶	Q5	Q6	Q17	Q18
	3,1 - 3,9 (Regular)	▶	Q7	Q8	Q19	Q20
	3,9 - 5,5 (Malo)	▶	Q9	Q10	Q21	Q22
	> 5,5 (Muy Malo)	▶	Q11	Q12	Q23	NP

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la Figura 2 se muestra un ejemplo del impacto que se genera en la red vial al aplicar los nuevos parámetros de clasificación. Por ejemplo, se muestra el caso de la Nota de Calidad Q2 lo que se traduce en una buena condición estructural por contar con deflexiones bajas, y valores de IRI entre 1.9 y 3.6 (con una clasificación de Regular), que representa un poco más de 2100 km. Particularmente esta nota de calidad es una de las que cuenta con un rango muy amplio de IRI, por lo que al aplicar la nueva propuesta de clasificación a los valores de IRI, se puede notar una mayor división de notas de la siguiente forma: 413 km para valores de IRI entre 3,1 – 3,9 (Q7), 898 km para valores de IRI entre 2,4 – 3,1 (Q5) y 816 km para valores de IRI entre 1,4 – 2,4 (Q3). Esta distribución permite entender mejor el comportamiento de la red vial y por lo tanto elegir la intervención que mejor se ajuste a su condición.

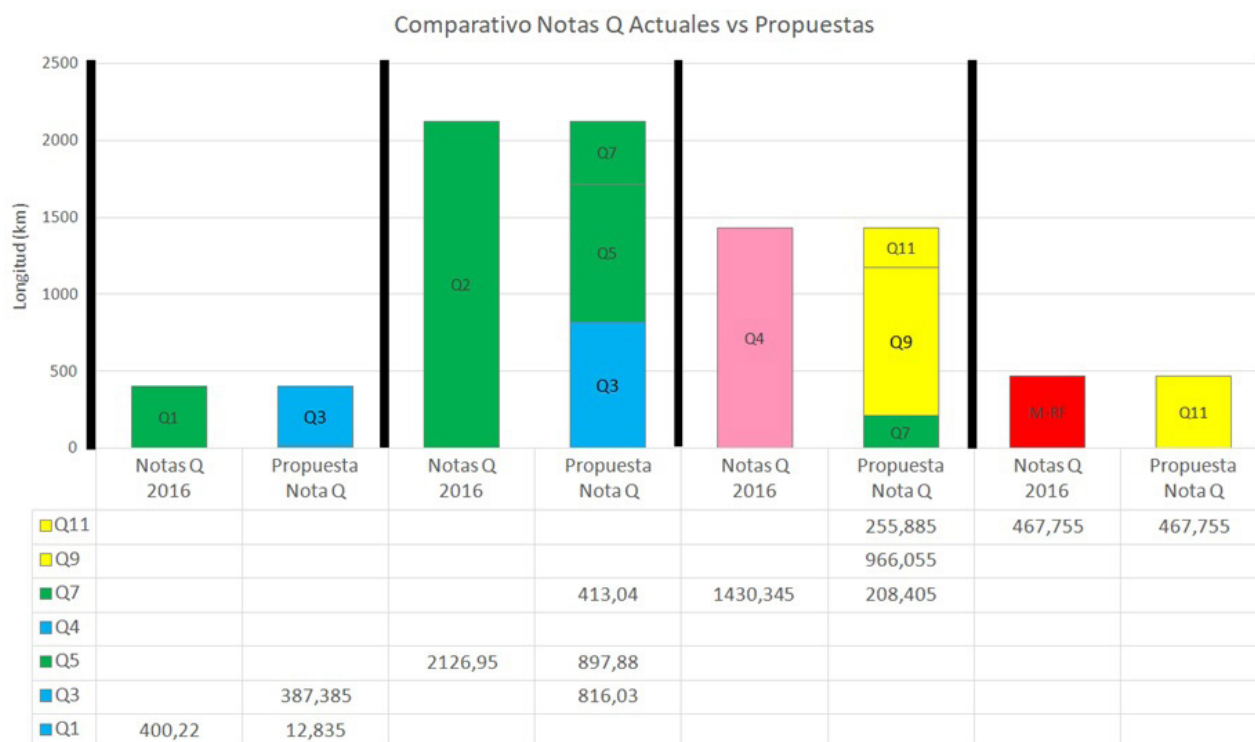
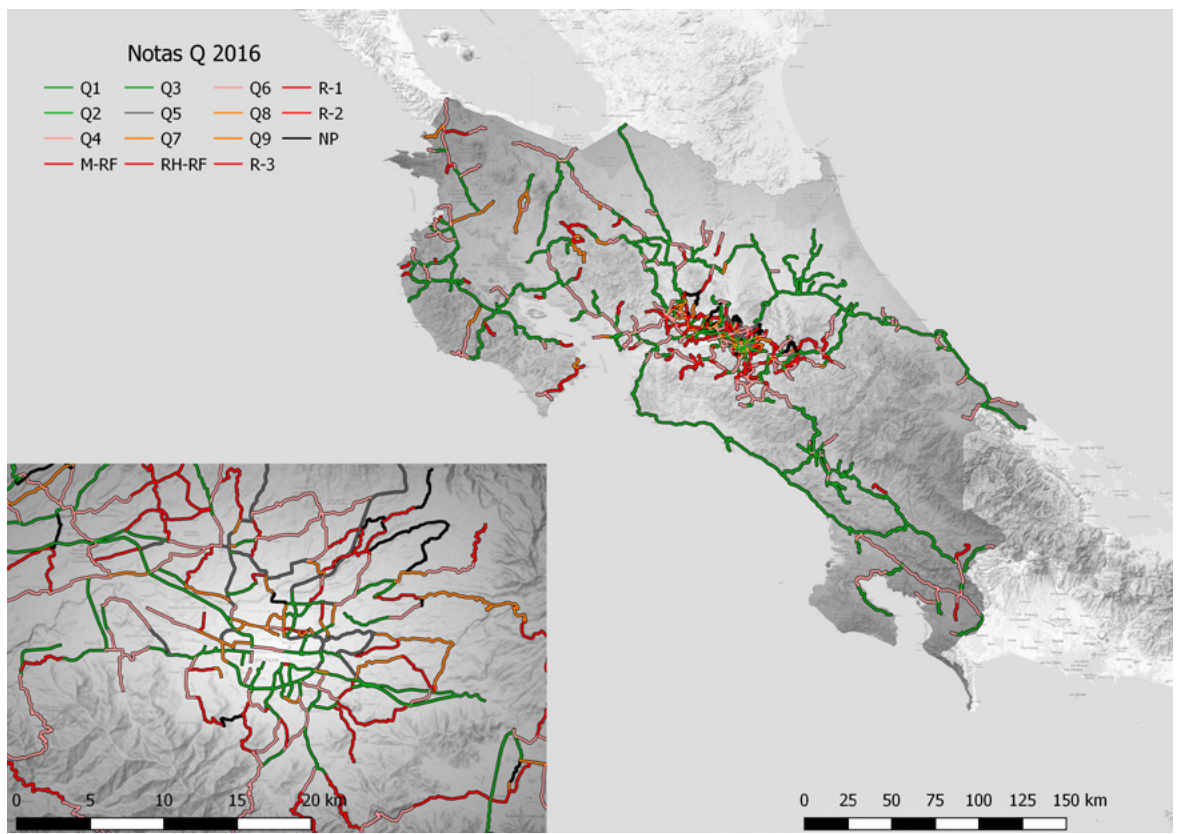
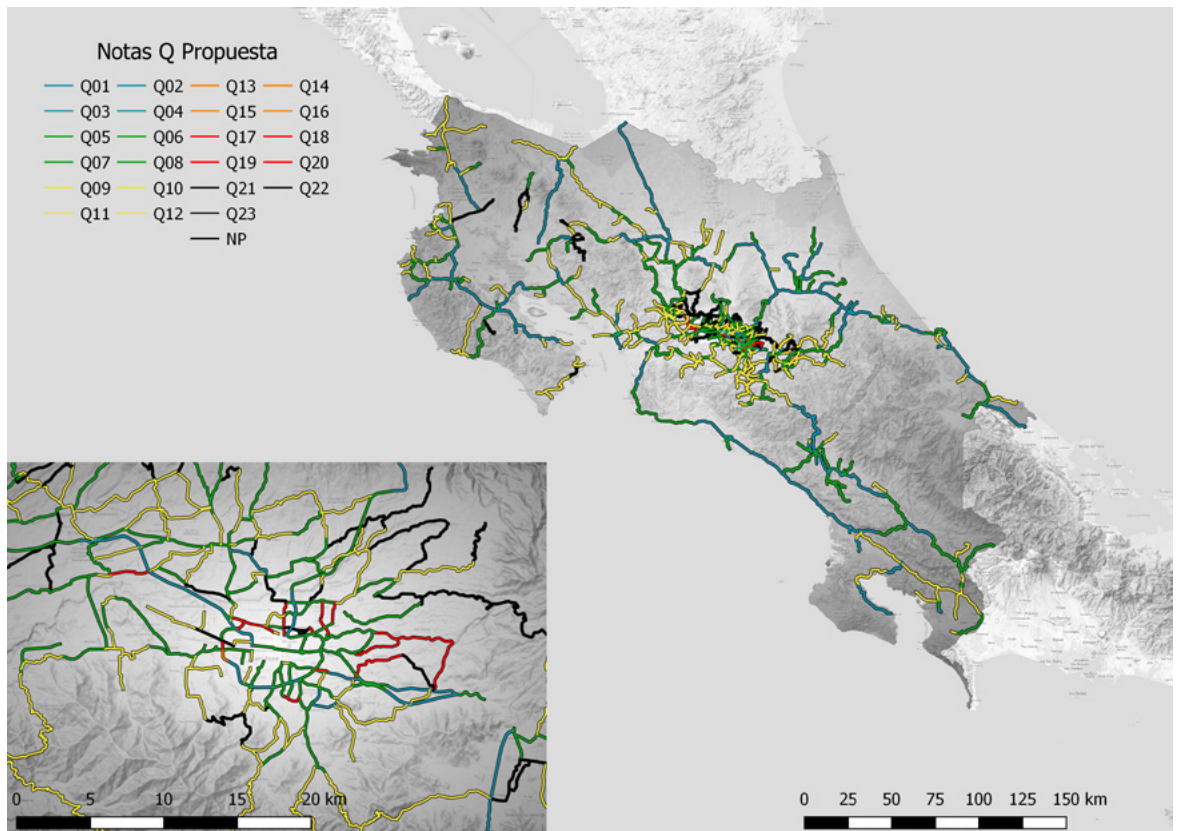


Figura 2. Comparación Notas de Calidad Actuales vs Notas de Calidad Propuestas. Q1, Q2, Q4 y M-RF
Fuente: Elaboración propia, 2018

En la Figura 3 se muestra un panorama general en el que se da la distribución de las Notas de Calidad en la Red Vial Nacional. Al densificarse la cantidad de notas, se obtiene una mejor forma de cuantificar las rutas o tramos que comparten características similares desde el punto de vista funcional y estructural para la selección adecuada del tipo de intervención que requieren. Después de haber realizado el análisis de la condición en la que se encuentra actualmente la red de carreteras de Costa Rica desde el punto de vista funcional, se reconoce que, en muchos casos, la aplicación de actividades de conservación no lograba establecer de la mejor manera el mantenimiento de cada tramo, como era el caso de las notas de calidad Q5.



a)



b)

Figura 3. Comparación Notas de Calidad. a) Notas Q Actuales, b) Notas Q Propuestas.
Fuente: Elaboración propia, 2018

Por medio de esta nueva propuesta, con la clasificación más detallada del IRI según el comportamiento que presenta la Red Vial Nacional Pavimentada, se logra cerrar esta brecha existente en la clasificación anteriormente usada. Con base en lo anterior es que finalmente se puede converger en una propuesta de actividades de conservación más equilibrada y enfocada al comportamiento que presentan los tramos de carretera a intervenir.

En la Figura 4 se presenta la distribución de las distintas Notas de Calidad, sin dejar por fuera - como ocurría en la definición de las estrategias de intervención anteriores, donde la Nota de Calidad Q5 no se podía definir - alguna de las notas de calidad definidas.

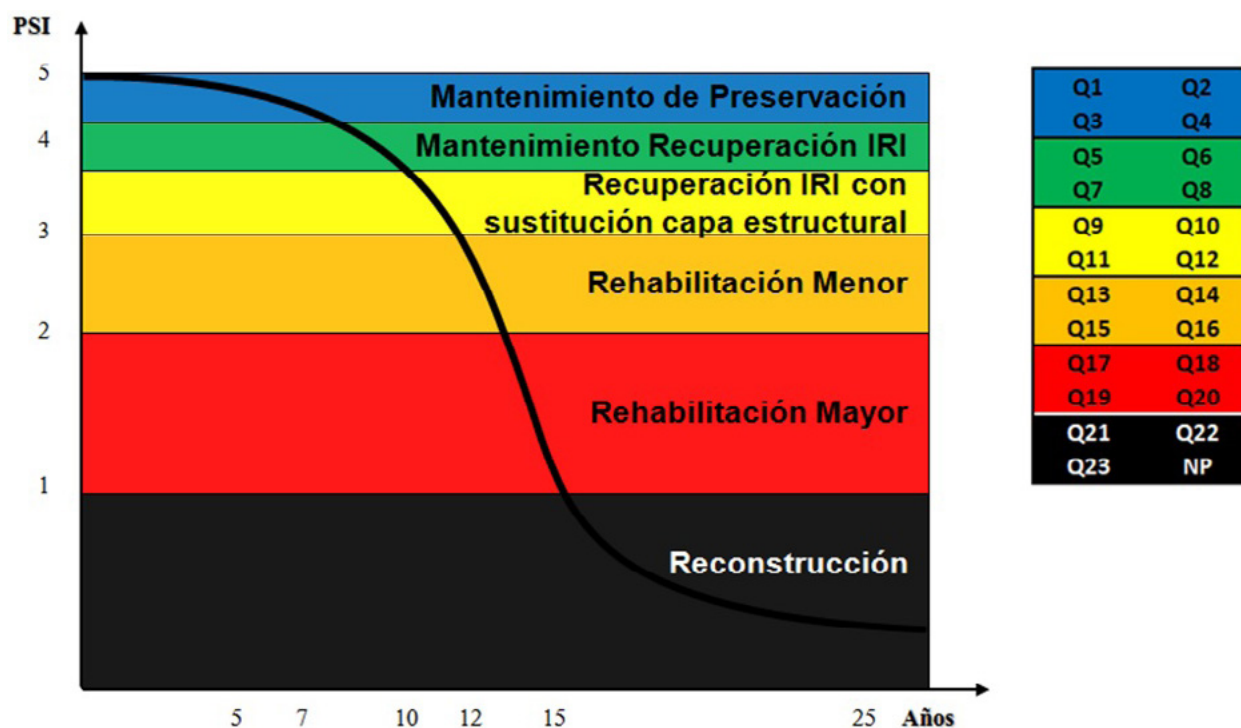


Figura 4. Comparación Notas de Calidad Actuales vs Notas de Calidad Propuestas. Q5, Q7 y RH-RF
Fuente: Elaboración propia, 2018

A pesar de que las estrategias mantienen el mismo nombre (exceptuando la que se denominaba "Análisis a Nivel de proyecto" que contenía la Nota de Calidad Q5, la cual se eliminó) y al haber una mejor clasificación de la información, se generó una nueva estrategia llamada "Recuperación de IRI con sustitución de capa estructural" la que integra las notas Q9 a Q12. En la Figura 5 se muestra a nivel porcentual la distribución que presenta la Red Vial Nacional de las estrategias de intervención utilizando cuatro clasificaciones de los valores del IRI y 16 Notas de Calidad Q.

Modelo Actual

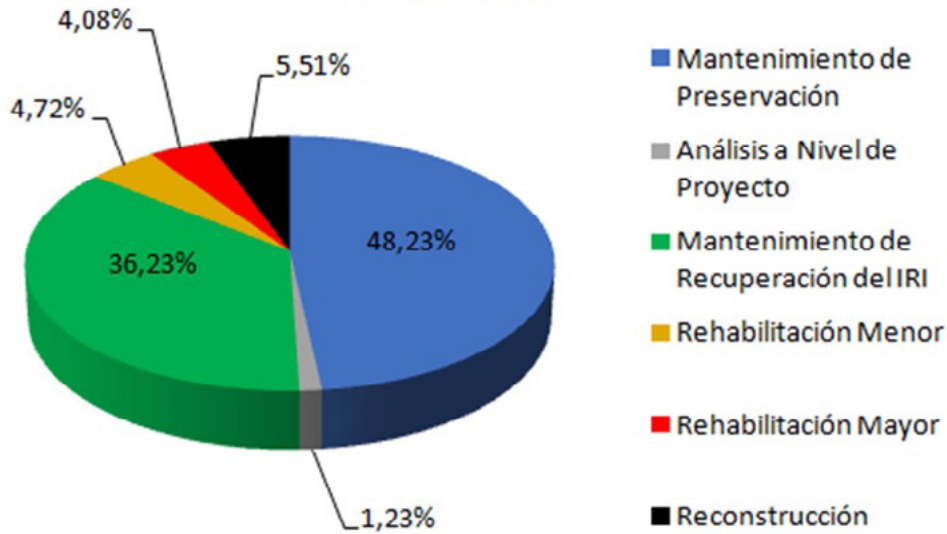


Figura 5. Modelo Actual estrategias de intervención en la Red Vial Nacional Pavimentada.
Fuente: Elaboración propia

A partir de estas clasificaciones, el modelo que se utiliza actualmente refleja que de la longitud de la Red Vial Pavimentada, un 48.23% corresponde a actividades de Mantenimiento de Preservación, las cuales son actividades de muy bajo costo que pretenden conservar la condición del pavimento ralentizando la presencia de deterioros y un 36.23% a Recuperación del IRI, las cuales son actividades de bajo costo que pretenden mantener una buena condición superficial y extenderle la vida útil del pavimento. Para el caso de la estrategia "Análisis a Nivel de Proyecto", que representa un 1.23% de la Red Vial Nacional Pavimentada, no era posible definir alguna actividad de conservación porque se consideraba que ese grupo de datos no contaba con información clara que permitiera definir acertadamente la actividad de mantenimiento.

En el modelo propuesto como resultado de este trabajo de investigación, se presenta una modificación significativa en la distribución de las ventanas de operación a lo largo de la Red Vial (Figura 6), reduciendo a más de la mitad los kilómetros que requieren "Mantenimiento de Preservación", pasando de un 48,23% a un 23,37% lo que refleja una atención más específica de los tramos de carretera que requieren actividades de bajo costo para prevenir la presencia de deterioros y extender la vida útil del pavimento.

Modelo Propuesto

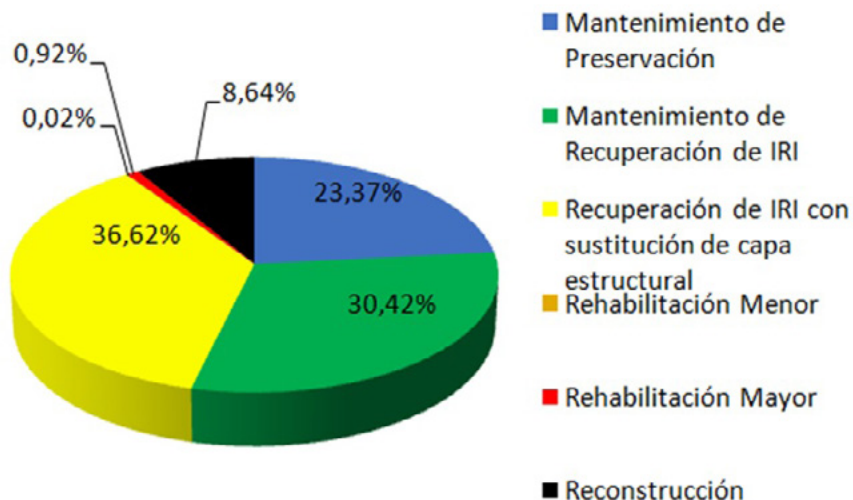


Figura 6. Modelo Actual estrategias de intervención en la Red Vial Nacional Pavimentada.
Fuente: Elaboración propia

En lo relacionado con el "Mantenimiento de Recuperación de IRI" se presenta una disminución del 6% aproximadamente, pero absorbe gran parte del 1.23% que le correspondía a "Análisis a Nivel de Proyecto" y cerca de un 25% de "Mantenimiento de Preservación" según la clasificación usada en la actualidad. Esto permite asignar de forma más específica el tipo de mantenimiento que requiere y así solventar las necesidades conservación para esas secciones de la carretera.

Otro caso particularmente importante fue la inclusión de la estrategia "Recuperación de IRI con sustitución de capa estructural", que se refiere a la sustitución de la capa de mezcla asfáltica, lo cual puede mejorar el IRI y mantener o mejorar la capacidad estructural. Esta nueva estrategia ha incluido en su mayoría las estrategias "Mantenimiento de recuperación de IRI" y "Rehabilitación Menor", lo que puede representar una mejora significativa en la eficacia de la aplicación de las técnicas de mantenimiento.

IV. CONCLUSIONES

La propuesta para la redefinición de los rangos de IRI y nuevas Notas de Calidad Q caracteriza de forma más precisa la condición de la Red Vial Nacional en cerca de un 70% de la longitud total evaluada, puesto que distribuye de una manera más equilibrada los valores calculados del IRI, logrando distinguir de manera más eficiente la condición funcional de los pavimentos, ya que los rangos propuestos evitan agrupar tramos en categorías que no satisfacen las necesidades de intervención, como por ejemplo la categoría Regular que inicialmente representaba el 40% de la Red Vial Nacional con un rango muy amplio de valores de IRI, siendo además una zona crítica que requería una mayor atención para definir intervenciones más específicas.

Se definió un nuevo modelo de ventanas de operación, que define de manera más específica la estrategia de intervención necesaria, a pesar de que se cuenta con igual número de estrategias, tanto para el modelo usado actualmente como para el propuesto. Se dan varias modificaciones relevantes, como lo es el caso de "Análisis a Nivel de Proyecto", ésta fue absorbida en parte por "Mantenimiento de Recuperación de IRI" y "Mantenimiento Periódico". Otro caso particularmente importante fue la inclusión de la estrategia "Recuperación de IRI con sustitución de capa estructural", la cual se refiere a la sustitución de la capa de mezcla asfáltica, que puede mejorar el IRI y mantener o mejorar la capacidad estructural, la cual incluye en su mayoría las estrategias "Mantenimiento de recuperación de IRI" y "Rehabilitación Menor", lo que puede representar una mejora significativa en la eficacia de la aplicación de las técnicas de mantenimiento. Para los tramos que anteriormente se encontraban dentro de la ventana de operación "Mantenimiento de recuperación de IRI", en la cual se utilizaba una sobrecapa delgada, que podía mejorar el confort y seguridad del usuario; dicha estrategia no cubría en su totalidad la verdadera necesidad que se solicitaba para esos tramos, ya que era necesario una intervención más elaborada, por lo que probablemente solventaba el problema, pero no de la manera más eficaz y eficiente posible.

V. REFERENCIAS

Astigarraga, E. (s.f). El Método Delphi. Donostia, San Sebastián, España: Universidad de Deusto.

Barnes, G., & Langworthy, P. (2003). The Per-mile Costs of Operating Automobiles and Trucks. Minnesota.

Barrantes J., R., & Valverde C., C. (2018). Diseño de un modelo para la selección de actividades de conservación vial para la Red Vial Nacional de Costa Rica. San José.

Barrantes J., R., Loría S., L. G., Ávila E., T., & Valverde C., C. (2010). Modelos de Deterioro de Pavimentos para la Ruta Primaria de Costa Rica basado en modelos de IRI-PSI. San José.

de Solminihaç, H. (1998). Gestión de Infraestructura Vial. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2015). Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica Años 2014-2015. San José.



LanammeUCR

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PITRA Programa de **Infraestructura del Transporte**

Ing. Luis Guillermo Loría-Salazar, Ph.D.

Coordinador General

Ing. Fabián Elizondo-Arrieta, MBA

Subcoordinador

UNIDADES

Unidad de Auditoría Técnica (UAT)

Ing. Wendy Sequeira-Rojas, M.Sc

Coordinadora

Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)

Ing. Diana Jiménez-Romero, M.Sc, MBA

Coordinadora

Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)

Ing. Raquel Arriola-Guzmán

Coordinadora

Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP)

Ing. José Pablo Aguiar-Moya, Ph.D.

Coordinador

Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)

Ing. Roy Barrantes-Jiménez M.Sc

Coordinador

Unidad de Gestión Municipal (UGM)

Ing. Jaime Allen Monge, Ph.D

Coordinador

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación, diseño y control de calidad: Katherine Zúñiga Villaplana / Óscar Rodríguez Quintana

Boletín técnico: RANGOS DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL Y SU IMPACTO EN LAS VENTAS DE OPERACIÓN / Febrero 2019