

Aspectos y consideraciones importantes

Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

Ing. Gustavo Badilla Vargas
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
gbadilla@lanamme.ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 08 de diciembre del 2008

Fecha de aprobación: 28 de enero del 2009

Resumen

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) ha sido un parámetro ampliamente utilizado para determinar las características superficiales que presentan los pavimentos. Recientemente, en Costa Rica, la Administración ha venido introduciendo la medición del IRI como parámetro de aceptación de diferentes obras viales; sin embargo, no ha sido posible lograr una adecuada implementación de este índice. El artículo presenta los principales detalles, cuidados y procedimientos involucrados en el cálculo del IRI, con la finalidad de que sean tomados en cuenta en la definición de especificaciones de aceptación de proyectos viales o evaluación de la red vial.

Palabras claves: Regularidad Superficial, Índice de Regularidad Internacional, IRI, Rugosidad, Pavimentos.

Abstract

The International Roughness Index (IRI) has been a widely used parameter in order to determine the pavement surface characteristics in roads. Recently, in Costa Rica, the Administration has been introducing the measurement of IRI as a parameter of acceptance of several road construction works. However, it has not been possible to achieve an appropriate implementation of this index. The article presents the main details, cares and procedures involved in the calculation of the IRI, with the purpose of being considered in the definition of specifications to accept projects or in the evaluation of the road network.

Keywords: Roughness, IRI, International Roughness Index, Pavement.

1. Introducción

La evaluación de pavimentos proporciona información que puede ser utilizada tanto en el diseño como en la gestión de la infraestructura, permitiendo priorizar las actividades de mantenimiento, rehabilitaciones y reconstrucciones. Permite también realizar inventarios del estado y la condición de la red vial, así como evaluar los costos adicionales en los cuales pueden incurrir los usuarios por el uso de la carretera.

Se reconocen dos tipos de evaluaciones, la evaluación estructural (relacionada con la capacidad que tiene el pavimento para soportar las cargas de los vehículos) y

la evaluación funcional (relacionada directamente con la percepción del usuario al utilizar una determinada vía).

En el caso de la evaluación funcional, la regularidad de la superficie de ruedo para la circulación de los vehículos permite ofrecer condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios de las carreteras. Tiene incidencia en los costos de operación de los vehículos, puesto que, dependiendo de la magnitud de las irregularidades superficiales, la velocidad de circulación puede verse afectada negativamente, lo cual puede reflejarse por un mayor desgaste en las llantas y el consumo de combustible.

Adicionalmente, los efectos dinámicos producidos por las irregularidades de las carreteras, pueden reflejarse no sólo en los vehículos, sino también en modificaciones de estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento, lo que puede incrementar los costos en las actividades de conservación y rehabilitación.

Por estas razones, conocer la regularidad superficial del pavimento en cualquier momento desde el inicio de su periodo de servicio o de la vida útil, permitirá definir las acciones de conservación o rehabilitación necesarias en el momento pertinente.

Debido a esto, muchos países han utilizado el Índice de Regularidad Internacional (IRI), como parámetro para evaluar la regularidad y reflejar el confort y seguridad de los usuarios.

Es posible encontrar diversas investigaciones en las cuales se ha evaluado la influencia de valores iniciales de IRI con el comportamiento del pavimento a largo plazo, en ellas se ha encontrado que valores iniciales elevados de IRI ocasionan mayores deterioros en el tiempo, mayor costo de mantenimiento, una vida útil de servicio inadecuada y rehabilitaciones o reconstrucciones a temprana edad del pavimento.

Profundizar en los detalles, cuidados, procedimiento de cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI), así como las especificaciones internacionales, permitirá contar con una metodología homogénea y objetiva que permita evaluar la condición superficial, representada por el IRI.

2. Objetivo general

Establecer los principales detalles, cuidados y procedimiento de cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI), que deben considerarse para establecer la metodología de ensayo que se aplicará para la medición del IRI en Costa Rica.

3. Conceptos generales en la evaluación de la regularidad superficial

Definición de regularidad superficial

En la norma de ensayo ASTM E 867-06 *Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems*, se define el concepto de *Roughness* como: “*desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal.*”

A la luz de esta definición, algunos autores prefieren utilizar el término Regularidad, puesto que este concepto se asocia más fácilmente a la definición de *Roughness*, que el término Rugosidad. De esta manera, puede encontrarse bibliografía que trata indistintamente los conceptos de Regularidad y Rugosidad; sin embargo, para efectos del presente artículo se prefiere utilizar Regularidad, para referirse a las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad del rodado, seguridad y costos de operación del vehículo.

En la década de los 70's, el Banco Mundial financió diferentes programas de investigación a gran escala, entre los cuales se encontraba un proyecto relacionado con la calidad de las vías y los costos a los usuarios, a través del cual se detectó que los datos de regularidad superficial de diferentes partes del mundo no podían ser comparados. Aún datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos y métodos que no eran estables en el tiempo.

Con el objetivo de unificar los parámetros que se utilizaban en diferentes países para determinar la regularidad superficial de las carreteras, se realizó en Brasil en 1982, el proyecto *International Road Roughness Experiment (IRRE)*, promocionado por el Banco Mundial; en el cual participaron equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica. En este proyecto se realizó la medición controlada de la regularidad superficial de pavimentos para vías bajo diferentes condiciones y con una variedad de instrumentos y métodos. A partir de dicho proyecto, se seleccionó un parámetro de medición de la regularidad superficial denominado **Índice de Regularidad Internacional** (IRI, *International Roughness Index*).

De esta manera se definió como: “El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadora (RARS₈₀, Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS, Reference Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h”.

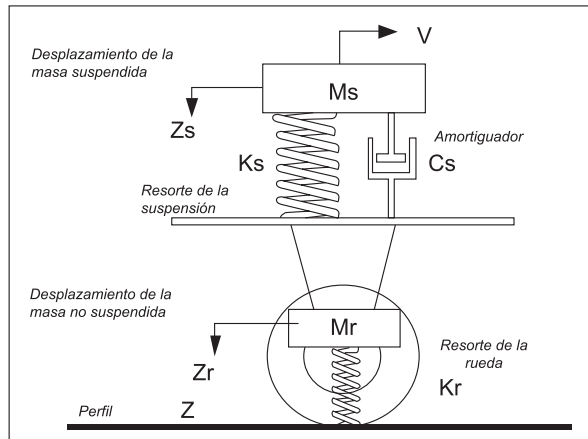
En términos más sencillos, el IRI es un modelo matemático, el cual calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo de pasajero típico, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h.

Cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

El cálculo del IRI involucra la utilización de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales que permiten derivar la medida de regularidad asociada al camino; lo cual contempla etapas claramente diferenciadas y ajustadas a un desarrollo sistemático.

El primer paso del procedimiento para el cálculo del IRI, y el más importante de todos, consiste en medir las cotas o elevaciones de terreno que permiten representar el perfil real del camino. Esto significa que, el IRI es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil, y dependerá únicamente de la calidad del perfil longitudinal. Estos datos son sometidos a un **primer filtro**, en el cual se realiza un análisis estadístico (media móvil) y adecuaciones matemáticas, para poder generar un nuevo perfil que permite ser analizado desde

Figura 1 Modelo de cuarto de carro



Fuente: De Solminihaç, H. Presentación Power Point. Planificación y Gestión Vial. 2006

el punto de vista de las irregularidades que se pudieran observar. Las razones para aplicar este primer filtro son las siguientes: a) para simular el comportamiento entre las llantas de los vehículos y la carretera, y b) para reducir la sensibilidad del algoritmo del IRI al intervalo de muestreo.

Al nuevo perfil generado se le aplica un **segundo** filtro, el cual consiste en la aplicación de un modelo de cuarto de carro que se desplaza a una velocidad de 80 km/h.

A través de éste, se registran las características asociadas al camino basadas en los desplazamientos verticales inducidos a un vehículo estándar, el cual es modelado de forma simplificada como un conjunto de masas ligadas entre sí y con la superficie de la carretera, mediante resortes y amortiguadores. El movimiento sobre el perfil de la carretera produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones en las masas, que nos lleva a medir los movimientos verticales no deseados atribuibles a la irregularidad del camino. (Ver Figura 1)

El modelo de simulación consta de una masa “amortiguada o suspendida” (masa de un cuarto de carro ideal) conectada a una masa “no amortiguada” (eje y neumático), a través de un resorte y un amortiguador lineal (suspensión), y por último el neumático es representado por otro resorte lineal.

El modelo de cuarto de carro emplea los parámetros de lo que se ha denominado como el Carro de Oro, los cuales se muestran a continuación:

$$k_2 = \frac{k_s}{M_s} = 63.3 \quad k_1 = \frac{k_r}{M_s} = 653$$

$$c = \frac{c_s}{M_s} = 6 \quad \mu = \frac{M_r}{M_s} = 0.15$$

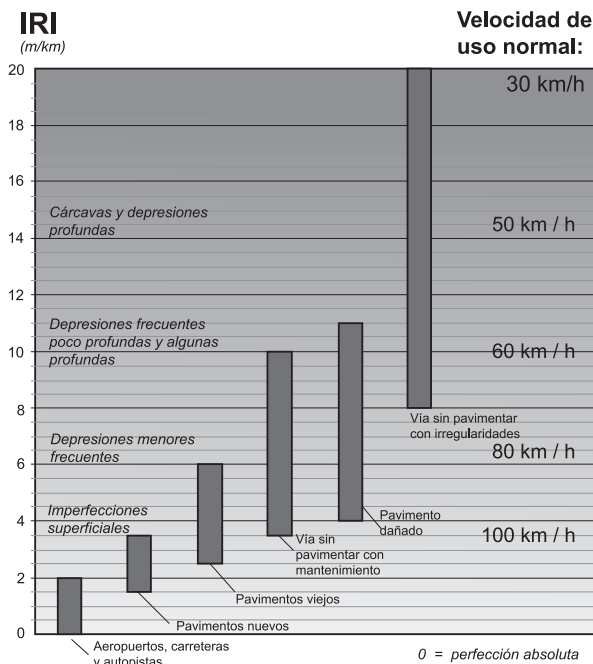
donde:

k_s : constante del resorte de la suspensión
 k_r : constante del resorte de la rueda
 M_s : masa suspendida
 M_r : masa no suspendida
 c_s : amortiguador

Las ecuaciones dinámicas presentes en el modelo, forman un sistema de ecuaciones que utilizan como dato de entrada el perfil de la carretera (en la parte inferior del “resorte del neumático”). El movimiento vertical del eje respecto a la masa suspendida, se calcula y acumula. El valor en m/km (metros acumulados por kilómetro viajado) es la medida final de la regularidad del camino.

Un aspecto importante que debe considerarse en el método de cálculo de IRI, es que se deben estimar valores iniciales entre la respuesta de transición y la respuesta inducida por el perfil. Los efectos de esta inicialización disminuyen conforme la simulación del cuarto de carro cubre una mayor distancia del perfil. Esta inicialización influye en el modelo del cuarto de carro en

Figura 2 Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías



Fuente: Adaptado de UMTRI Research Review, Vol. 33. Número 1. Enero-Febrero 2002

aproximadamente 20 m. Por lo tanto, la manera más precisa de tratar con la inicialización, es medir el perfil al menos 20 m antes del punto de inicio del tramo, e iniciar a partir de allí el cálculo del IRI.

A partir del estudio realizado por el Banco Mundial, se propuso una escala de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías (ver Figura 2).

Para caminos pavimentados, el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para vías no pavimentadas la escala se extiende hasta el valor de 20. El perfil real de una carretera recién construida tiene un estado cero, pero se define por su IRI inicial mayor a cero, debido principalmente a que alcanzar valores de $IRI = 0$ es sumamente difícil desde el punto de vista constructivo. Una vez puesta en servicio, la regularidad del pavimento se modifica lentamente en función del paso del tránsito.

4. Equipos existentes para la medición de la regularidad superficial de los pavimentos

Existen diferentes equipos para medir el perfil longitudinal del camino y así determinar la regularidad superficial, los cuales han venido evolucionando en el tiempo, variando unos de otros en la precisión y rapidez para la obtención de los resultados.

Nivel y mira topográfica (ver Figura 3)

Es la manera más conocida para la medición del perfil longitudinal. El equipo consiste en una mira de precisión, graduada con unidades convenientes de elevación (típicamente divisiones de cm o pies), y un nivel topográfico empleado para establecer el dato de la línea horizontal.

Figura 3. Nivel y mira topográfica



Dipstick (ver Figura 4)

El Dipstick consiste en un inclinómetro sostenido entre dos apoyos separados por 300 mm ó 250 mm (dependiendo de las unidades de análisis, los apoyos pueden separarse 12 pulgadas), los cuales registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro.

Equipo Dipstick

Figura 4



Fuente: Ventura, J. Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI). 2005

Perfilógrafos (ver Figura 5)

Los perfilógrafos tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre. La desviación de un plano de referencia, establecido por el marco del perfilógrafo, se registra (automáticamente en algunos modelos) en papel según el movimiento de la rueda sensible. Se pueden encontrar en una gran variedad de formas, configuraciones y marcas.

Perfilógrafo California

Figura 5

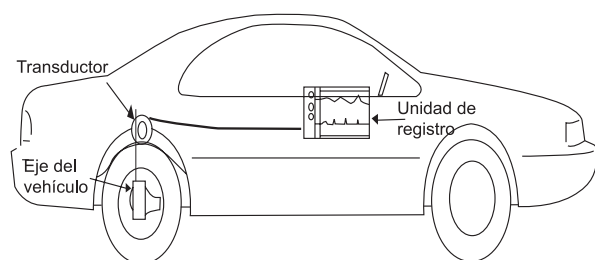


Fuente: Romaro Internacional, S.A. de C.V.

Equipos Tipo Respuesta (RTRRMS) (ver Figura 6)

Los equipos RTRRMS operan a la velocidad normal de circulación de una carretera. Miden los movimientos verticales del eje trasero del automóvil o el eje del remolque respecto al marco del vehículo. De esta manera el equipo mide la respuesta (rebote) del vehículo a la regularidad del camino, por lo que no es realmente una medida verdadera de la lisura de la superficie.

Figura 6 Componentes de equipos tipo respuesta

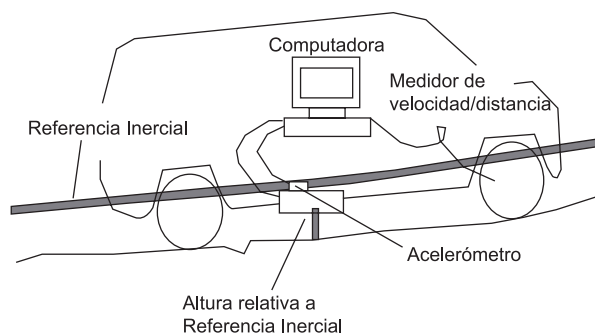


Fuente: Adaptado de "A synopsis on the current equipment used for measuring pavement smoothness"

Perfilómetro Inercial (ver Figura 7)

Son equipos de alto rendimiento que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino. Las mediciones son independientes de cualquier variación en el peso y velocidad del vehículo, temperatura, color y textura del pavimento.

Figura 7 Componentes de equipos con referencia inercial



Fuente: Adaptado de "A synopsis on the current equipment used for measuring pavement smoothness"

En la Tabla 1 se resumen las principales características de los equipos utilizados para la medición de la regularidad superficial.

Como se mencionó anteriormente el paso más importante para el cálculo del IRI, consiste en la medición de las ordenadas o cotas de una línea de perfil longitudinal. Sin embargo, es importante destacar que, graficar las elevaciones versus la distancia longitudinal para un mismo tramo de carretera, empleando diferentes equipos de medición, no necesariamente

implica que los perfiles longitudinales medidos coincidan entre sí. Por ejemplo, la Figura 8 muestra los perfiles longitudinales obtenidos a partir del Dipstick y otros dos perfilómetros inerciales (ICC Laser y K.J. Law), los cuales evidentemente son muy diferentes entre sí. Estas diferencias se deben principalmente a la conjugación entre la parte del perfil del camino que contribuye a la regularidad y la pendiente total del tramo seleccionado. En otras palabras, dependiendo del equipo se establecen niveles de referencia diferentes para la determinación del perfil; es decir, en el caso del Dipstick se registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro, mientras que en el caso de los perfilómetros inerciales, las elevaciones se registran respecto a un eje de referencia inercial, lo cual genera las diferencias mostradas en la Figura 8.

Una vez que se cuenta con el perfil longitudinal, este es sometido al primer filtro, que consiste en una serie de adecuaciones matemáticas y análisis estadístico (media móvil), para generar un nuevo perfil suavizado de las irregularidades, obteniéndose los resultados mostrados en la Figura 9 donde se muestra básicamente el mismo patrón.

Finalmente a este perfil suavizado se le aplica el segundo filtro de la simulación del cuarto de carro, RQCS, a una velocidad de 80 km/h y se le determina finalmente el IRI.

5. Variación del IRI según la longitud de evaluación

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino; sin embargo, los usuarios deben entender que el cálculo del IRI depende altamente sobre qué longitud es acumulado. Es fundamental entender la relación que existe entre la variación de regularidad a lo largo del camino y el tramo del camino sobre el cual la regularidad es promediada. De esta forma, aunque la bibliografía casi siempre habla solamente del valor del IRI de una carretera, es conocido que, para ser precisos, se debe añadir la longitud a la cual se determina dicho valor, ya que el IRI es el valor medio de los IRI unitarios o puntuales que se obtienen. Habitualmente, el valor unitario más utilizado es cada 0.25 m y el valor global de referencia puede variar dependiendo de cada país o agencia de pavimentos.

En vista de la importancia que reviste la longitud para la determinación del IRI, es necesario establecer un intervalo de longitud, ya que intervalos de longitud mayores ocultan niveles altos de regularidad superficial

Equipo	Grado de precisión	Implementación	Complejidad del equipo	Observaciones
Nivel y mira topográfica	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Dipstick	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Muy Simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Perfilógrafos	Medio	Control de calidad y recepción de obras	Simple	No son prácticos para evaluar la condición a nivel de red
Equipos tipo respuesta (RTRRMS)	Medio	Monitoreo de carreteras a nivel de red	Compleja	Los resultados no son transportables ni estables en el tiempo, pues dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo
Perfilómetro inercial	Muy alto	Monitoreo de carreteras a nivel de red y recepción de proyectos viales	Muy Compleja	Equipo de alta precisión, cuyos resultados son transportables y estables en el tiempo. Su principal uso es la evaluación de redes viales grandes

Fuente: Adaptado de Ventura, J. *Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)*

en los pavimentos, obteniendo de una manera inadecuada valores de IRI satisfactorios. Por otra parte, la utilización de intervalos de longitud menores para la determinación del IRI, puede detectar niveles altos de irregularidad, contribuyendo a obtener pavimentos con mejores niveles de seguridad y confort.

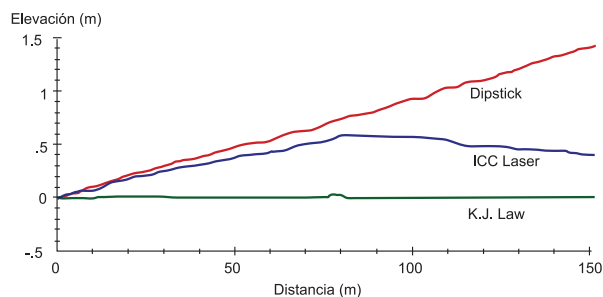
Como se puede observar de la Tabla 2, las variaciones en la longitud del intervalo de medición del IRI, tienen incidencia directa en los resultados, de forma tal que los valores se suavizan como consecuencia del efecto de promediar. Lo cual es bastante evidente, al observar los primeros 100 m del tramo, en el cual se dan valores de IRI mayores a 10 y valores de IRI inferiores a 2, cuando el intervalo de evolución es igual a 5 m. Por su parte, al calcular el valor del IRI en una longitud de evaluación de 100 m, el efecto de promediar los valores dentro de este tramo muestra un valor de IRI igual a 4.5.

6. Efecto de singularidades en la medición y cálculo del IRI

El correcto acabado de los pavimentos es de gran importancia para la comodidad, seguridad y costos de operación de los usuarios de los caminos, factor que, además de tener una gran influencia en la duración de éstos, repercute en los costos del mantenimiento vial. Debido a que, el IRI involucra la diferencia entre el perfil longitudinal teórico y el perfil longitudinal existente, es un hecho que se pueden presentar ciertas singularidades que podrían afectar la medición del IRI. Se entiende como singularidad: "Cualquier alteración del perfil

Variaciones aparentes de perfiles longitudinales utilizando diferentes equipos

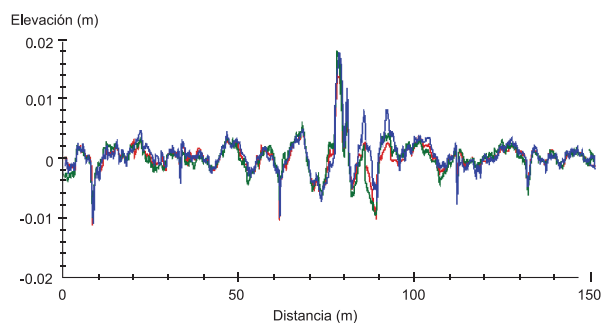
Figura 8



Fuente: Adaptado de *The Little Book of Profiling. Basic information about Measuring and Interpreting Road Profiles. 1998*

Los mismos perfiles de la figura anterior después del filtrado

Figura 9



Fuente: Adaptado de *The Little Book of Profiling. Basic information about Measuring and Interpreting Road Profiles. 1998*

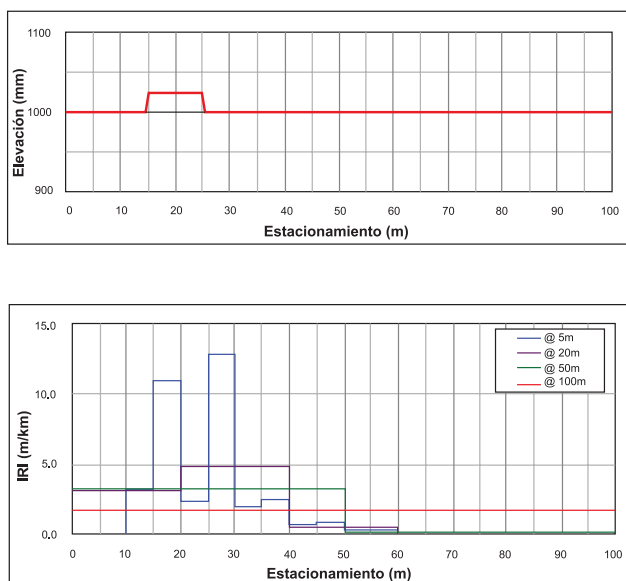
longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces

Tabla 2 Variación en el valor del IRI (m/km) según la longitud de evaluación

Estación inicial (m)	Estación final (m)	Valores de IRI promediando resultados del RSP a diferentes intervalos			
		Cada 5 m	Cada 20 m	Cada 50 m	Cada 100 m
0	5	11.4	9.7	6.1	4.5
5	10	10.5			
10	15	13.0			
15	20	4.0			
20	25	3.8	3.3		
25	30	3.7			
30	35	3.5			
35	40	2.2			
40	45	4.6	4.5	2.9	
45	50	4.8			
50	55	3.8			
55	60	4.8			
60	65	2.8	2.5		
65	70	1.7			
70	75	2.3			
75	80	3.1			
80	85	3.0	2.7		
85	90	3.6			
90	95	1.6			
95	100	2.8			

Fuente: El autor. 2008

Figura 10 Simulación de un bache con un mal acabado superficial



Fuente: El autor. 2008

de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino” (LNV 107-2000). Debe tenerse en cuenta que, el valor de la medición del IRI se verá afectado a todo lo largo de la singularidad más su área de influencia que son 40 m hacia delante en el sentido

de la medición, lo cual corresponde a una característica propia del método de cálculo del IRI.

Aunque la definición anterior está relacionada con alteraciones en el perfil longitudinal que no provienen de fallas constructivas, en la Figura 10 se muestra un ejemplo particular de lo que ocurre cuando se calcula el IRI para un bache con un mal acabado superficial debido a fallas constructivas.

Se puede notar que esta falla constructiva genera un incremento en el valor del IRI (incluso valores superiores a 12 m/km para un intervalo de evaluación de 5 m), especialmente si se utilizan intervalos o longitudes de evaluación más cortos. En el caso de que aumente la longitud de evaluación, los resultados de los valores de IRI se reducen, e imposibilitan determinar el sitio donde se presentan las particularidades. Pueden notarse también los 40 metros del área de influencia después del sitio donde se presentó la particularidad, especialmente cuando se emplean intervalos o longitud de evaluación pequeños.

7. Comentarios finales

Un estudio realizado por Townsend, denominado “Determinación de umbrales de rugosidad (IRI) obtenido de base de datos de caminos con controles receptivos”, presenta algunas consideraciones, en términos cualitativos, que deben tenerse para el control receptivo de proyectos:

- La presencia de desvíos durante la construcción de las obras, aseguran valores de regularidad bajos, respecto aquellas obras ejecutadas sin la presencia de éstos.
- La geometría del camino asociada a curvas verticales y horizontales, pendientes, gradientes, peraltes y otras, durante la etapa constructiva de las obras pueden afectar la adecuada terminación de los caminos en términos de obtener valores de IRI aceptables.
- La calidad y tecnología de las maquinarias, los equipos topográficos, las buenas prácticas constructivas, el adiestramiento y la capacitación de operadores, aseguran una baja regularidad.
- Según la experiencia internacional, es conveniente anticipar controles de regularidad en las capas estructurales inferiores a la superficie de rodado. La evaluación de la capacidad funcional en cada etapa de la construcción, se presenta como una alternativa

complementaria a las tradicionales. La evaluación por capas puede permitir corregir eventualmente diferencias en la construcción de una capa y mejorar la regularidad superficial del pavimento.

Por su parte Zaghloul, estableció que, valores iniciales elevados de IRI ocasionan mayores deterioros en el tiempo, mayor costo de mantenimiento, una vida útil de servicio inadecuada y rehabilitaciones o reconstrucciones a temprana edad del pavimento. Aún solucionándose los deterioros iniciales, el pavimento siempre presentará fallas funcionales en el tiempo más graves que aquel pavimento que inició su vida útil con un valor de IRI menor.

Michael S. Janoff del JMJ Research, al estudiar en 1988 el efecto de la regularidad inicial sobre el desempeño del pavimento a largo plazo, presenta los siguientes resultados:

-Los pavimentos con una menor regularidad inicial, tienen niveles más bajos de regularidad para los siguientes 10 años a la construcción.

-Los pavimentos con una menor regularidad inicial, tienen niveles más bajos de agrietamiento para los siguientes 10 años a la construcción.

-Los pavimentos con una menor regularidad inicial, tienen costos anuales medios de mantenimiento más bajos para los siguientes 10 años a la construcción.

-En un periodo de 10 años, los ahorros anuales alcanzan en promedio US\$ 588 /Km carril. Además, se espera que la carretera dure aproximadamente 4 años más.

En el estudio de la NCHRP 1-31 se estimó que: una mejoría del 50% en la regularidad del pavimento, implica un incremento del 15% en la vida útil del pavimento.

En la pista de ensayo de la WestTrack se determinó que, una reducción del 10% en el valor del IRI, resulta en un incremento en el rendimiento del combustible de 1.91 Kilómetro/litro, aproximadamente. Además, se determinó que mayores irregularidades implican un aumento de la frecuencia de falla en componentes de los camiones y remolques.

Finalmente, aumentar la vida útil de las carreteras y ahorrar millones de colones en mantenimiento, depende de sólo empezar a darle una mayor importancia a los procedimientos, especificaciones y control de calidad durante la colocación de las mezclas asfálticas, para beneficio de los usuarios y contribuyentes.

Referencias

1. Awasthi, G. Singh, T. (Mayo 2003). On Pavement Roughness Indices. IE (I) Journal-CV. Recuperado el 19 de diciembre del 2007 de: <http://www.ieindia.org/publish/cv/0503/may03cv6.pdf>.
2. Budras, J. (Agosto 2001). A Synopsis on the Current Equipment Used for Measuring Pavement Smoothness. Recuperado el 11 de diciembre del 2007 de: <http://www.fhwa.dot.gov/pavements/smoothness/rough.cfm>.
3. Canadian Strategic Highway Research Program (C-SHRP) (Julio 1999). Summary of Pavement Smoothness Specifications in Canada and Around the World. Technical Brief #16. Canada. Recuperado el 18 de diciembre del 2007 de: <http://www.cshrp.org/products/br-6-e.pdf>.
4. Crespo del Río, R (Setiembre 2003). Variación del IRI según la longitud de evaluación. Área de Gestión de Infraestructura. AEPO Ingenieros Consultores. Madrid, España.
5. De Solminihaç, H., Cabrera, C. Bengoa, E. Evaluación de la Capacidad Estructural y Funcional del Pavimento durante el Proceso de Construcción. Chile. Año de publicación 2002. En el 6to Congreso Internacional PROVIAL 2002.
6. Montes, R. Determinación de la Rugosidad de los Pavimentos mediante Perfilometría Longitudinal. Sub-Unidad de Normalización, Laboratorio Nacional de Vialidad. Chile. 2001
7. Ningyuan, L. Marciello, F. Kazmicrowski, T. Quality Assurance Applied in Measuring Pavement Roughness of Ontario Provincial Roads. Ontario, Canadá. Recuperado el 18 de diciembre del 2007 de: <http://pms.nevadadot.com/2002presentations/47.pdf>. Año 2002.
8. Sayers, M. (1995). On the Calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile. Transportation Research Record, Transportation Research Board (TRB), Washington, DC. No. 1501, pp 1-12.
9. Sayers, M. Karamihas, S. (Setiembre 1998). The Little Book of Profiling: Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. University of Michigan, USA. Recuperado el 19 de diciembre del 2007 de: <http://umtri.umich.edu/erd/roughness>.
10. Townsend, E. Veliz, C. Determinación de umbrales de rugosidad (IRI) obtenido de base de datos de caminos con controles receptivos. Chile. Recuperado el 19 de diciembre del 2007 de: http://www.2.udec.cl/provial/trabajos_pdf/EdgardoTownsendUmbralesrugosidad.pdf. Año de publicación 2002. En el 6to Congreso Internacional PROVIAL 2002.
11. UMTRI Research Review (Enero-Marzo 2002). The Shape of Roads to Come: Measuring and Interpreting Road Roughness Profiles. Volumen 33. Número 1.
12. Ventura, J. Alvarenga E. (Mayo 2005). Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano. República de El Salvador
13. Zaghloul S. (1996). Benefits of Constructing Smoother Pavements. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 65, pp747-7
14. ICC Laser y KJ Law: Adaptado de The Little Book of Profiling: Basic information about Measuring and Interpreting Road Profiles. 1998.
15. Dirección de Vialidad Chile. (2001). LNV 107-2000. Determinación de la rugosidad de los pavimentos mediante perfilometría longitudinal. Especificaciones y métodos de muestreo, ensayo y control. Volumen 8. Manual de carreteras.
16. De Solminihaç, H. (2006). Planificación y Gestión Vial. Gestión de Infraestructura de Power Point. Lima, Perú. Recuperado el 9 de febrero del 2009 del: http://www.ing.udel.edu.pe/civil/material/vial/Primer_trimestre/PGV/Parte_2_De_Solminihaç/1.-Introduccion/F3n2006.pdf