



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-002-2013

PROPUESTA PARA LA DEFINICIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)

LANAMMEUCR

Preparado por:
LanammeUCR

San José, Costa Rica
Mayo, 2013

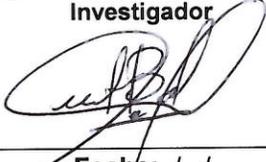
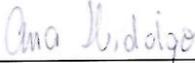
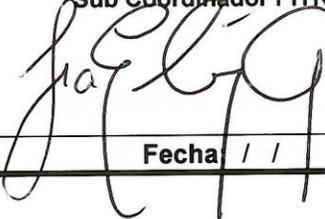
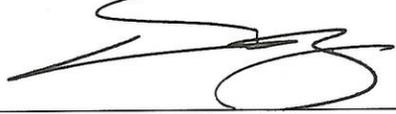
1. Informe LM-PI-002-2013		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: PROPUESTA PARA LA DEFINICIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) LANAMMEUCR		4. Fecha del Informe Mayo 2013
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias --- ** ---		
9. Resumen <i>El Índice de Regularidad Internacional es por definición una desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, y el cual se mide en m/km. En enero del 2013 se recibe en el LanammeUCR el oficio DMOPT-0064-2013, donde el señor Ministro de Obras Públicas y Transportes solicita que en el plazo de tres meses se redacte un informe en el que se contemplen la redacción de especificaciones para los proyectos de obras del CONAVI que incluyan:</i>		
<ul style="list-style-type: none"> a. Valorar la aceptación y pago de obra nueva, utilizándose para ello los criterios de Índice de Regularidad Internacional (IRI). b. Valorar la aceptación y pago por rehabilitaciones de obra, utilizándose para ello los criterios de Índice de Regularidad Internacional (IRI). c. Valorar la aceptación y pago para reconstrucciones de obra, utilizándose para ello los criterios de Índice de Regularidad Internacional (IRI). d. Elaborar un procedimiento para medir el Índice de Regularidad Internacional (IRI) en proyectos de construcción vial. 		
<i>Este informe se centra en presentar a la Administración una propuesta del procedimiento de medición y de análisis que se utiliza a nivel institucional en el LanammeUCR para el manejo del Índice de Regularidad Internacional (IRI), esto incluye el campo de la Investigación, informes de Auditoría Técnica, Evaluación y Gestión de la Red Vial Nacional y Gestión de la Red Vial Municipal; con el objetivo que esta información sirva de insumo para la Comisión encargada de elaborar las especificaciones para proyectos de obras del CONAVI que permitan valorar la aceptación y pago de obra nueva, de rehabilitación y reconstrucción de obras, utilizándose criterios de IRI.</i>		
10. Palabras clave IRI. Índice de Regularidad Internacional, Regularidad,	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 23
13. Preparado por:		14. Revisado por:
Ing. Gustavo Badilla Vargas Investigador  Fecha: / /	Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo Auditora Técnica  Fecha: 21/05/13	Ing. Roy Barrantes Jiménez Coordinador de la Unidad de Gestión de la Red Vial Nacional  Fecha: / /
15. Aprobado por:		
Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR  Fecha: / /	Ing. Fabián Elizondo Arrieta Sub Coordinador PITRA  Fecha: / /	Ing. Guillermo Loria Salazar, Ph. D. Coordinador General PITRA  Fecha: / /

TABLA DE CONTENIDO

PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE (PITRA).....	1
1. FUNDAMENTACIÓN	4
2. OBJETIVO GENERAL	4
3. ALCANCE	5
4. ANTECEDENTES	6
5. MARCO TEÓRICO	10
<i>CÁLCULO DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI).....</i>	<i>11</i>
<i>CONSIDERACIONES E IMPLICACIONES DE LA MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD.....</i>	<i>12</i>
<i>ESPECIFICACIONES DE IRI EMPLEADAS EN OTROS PAÍSES.....</i>	<i>14</i>
7. RECOMENDACIONES	21

PROPUESTA PARA LA DEFINICIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)

LANAMMEUCR

1. FUNDAMENTACIÓN

De conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la ley 8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR), para lograr la eficiencia de la inversión pública, la Universidad de Costa Rica podrá celebrar convenios con el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) a fin de realizar, por intermedio de este laboratorio tareas como:

g) Asesoramiento técnico al jerarca superior de la Dirección de Vialidad del MOPT, así como al ministro y viceministro del sector.

h) Ejecución y auspicio de programas de cursos de actualización y actividades de transferencia de tecnología dirigidas a ingenieros e inspectores.

2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este informe, es dar respuesta a la solicitud del Ministro Dr. Pedro Castro Fernández expresada en el oficio DMOPT-0064-2013, donde solicita que se redacte un informe en el que se contemplen la redacción de especificaciones para los proyectos de obras del CONAVI que incluyan:

- a) Valorar la aceptación y pago de obra nueva, utilizándose para ello los criterios de Índice de Regularidad Internacional (IRI).
- b) Valorar la aceptación y pago por rehabilitaciones de obra, utilizándose para ello los criterios de Índice de Regularidad Internacional (IRI).
- c) Valorar la aceptación y pago para reconstrucciones de obra, utilizándose para ello los criterios de Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Informe LM-PI-002-2013	Fecha de emisión: Mayo 2013	Página 4 de 23
------------------------	-----------------------------	----------------

- d) Elaborar un procedimiento para medir el Índice de Regularidad Internacional (IRI) en proyectos de construcción vial.

Se procura que este informe constituya un insumo para la Administración con el fin de colaborar en la redacción final del procedimiento solicitado, así mismo, una referencia que permita fortalecer los criterios técnicos de la Administración responsable de la calidad y mantenimiento de las obras viales.

3. ALCANCE

El alcance de este informe se centra en presentar a la Administración la propuesta de procedimiento de medición y de análisis que se utiliza a nivel institucional en el LanammeUCR para el manejo del Índice de Regularidad Internacional (IRI), procedimiento empleado a nivel interno en el campo de la Investigación, informes de Auditoría Técnica, Evaluación y Gestión de la Red Vial Nacional y Gestión de la Red Vial Municipal, con el objetivo que esta información sirva de insumo para la Comisión encargada de elaborar las especificaciones para proyectos de obras del CONAVI que permitan valorar la aceptación y pago de obra nueva, de rehabilitación y reconstrucción de obras, utilizándose para ello los criterios de este índice (IRI).

Cabe aclarar que el contenido de este informe es avalado por el LanammeUCR y que la implementación del contenido del mismo, así como la armonización de los criterios aquí emitidos con el resto de la normativa técnica vigente, carteles de licitación, contratos, especificaciones especiales o documentos similares es responsabilidad plena y absoluta de la Administración y podrán ser sujetos a futuros procesos de fiscalización por parte del LanammeUCR.

4. ANTECEDENTES

El día 14 de enero del 2013 se recibe el oficio DMOPT-0064-2013, en el cual el Ministro Dr. Pedro Castro Fernández comunica la conformación de una comisión encargada de atender las recomendaciones emitidas por la Auditoría Técnica del LanammeUCR, en el informe LM-PI-AT-042-12 "Evaluación del desempeño de la condición superficial del proyectos de reconstrucción a cargo de la Gerencia de Vías y Puentes del CONAVI", esta comisión estará coordinada por el Ing. Hugo Chaves Gutiérrez, (tal como si indica en el oficio DMOPT-0063-2013 del 14 de enero del 2013).

En el oficio mencionado anteriormente también se le solicita al coordinador del PITRA-LanammeUCR, Dr. Guillermo Loría Salazar, la colaboración al designar un funcionario (a) del LanammeUCR para integrar una comisión encargada de redactar, dentro de un plazo de tres meses, las especificaciones para proyectos de obras del CONAVI que permitan valorar la aceptación y pago de obra nueva, de rehabilitación y reconstrucción de obras, utilizándose para ello los criterios del Índice de Regularidad Internacional (IRI) y a su vez elaborar un procedimiento para medir el índice de Regularidad Internacional (IRI) en proyectos de construcción vial, por lo que se elige a la Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo, miembro de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, para que forme parte de dicha comisión en calidad de enlace y apoyo técnico para la formulación de insumos que coadyuven en la elaboración final de dicho procedimiento.

Como apoyo a la Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo, se incorporó al Ing. Gustavo Badilla Vargas como parte de la Comisión, ya que el ingeniero posee amplios conocimientos relacionados con el tema de interés, donde ha elaborado informes de investigación, trabajado con el equipo de medición y cálculo del IRI y colaborado en el desarrollo de los procedimientos internos de ensayo que permiten el análisis y cálculo del IRI en el LanammeUCR. El ingeniero Gustavo Badilla Vargas participó en el año 2007 en la revisión del documento "Revisión de la sección 406.23: Control de Rugosidad (IRI) del CR-2002 y presentación de recomendaciones para la modificación de la especificación sobre IRI" de la Ing. Julieta Benavides Gamboa, enviado en el oficio DO-D-07-1455 en el año 2007. Adicionalmente

Informe LM-PI-002-2013	Fecha de emisión: Mayo 2013	Página 6 de 23
------------------------	-----------------------------	----------------

participó en la elaboración de las secciones 401.16 , 401.17, 411.13 y 501.14 del "Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010"

En el LanammeUCR se ha trabajado con el Índice de Regularidad Internacional desde hace ya varios años, a nivel de investigación se ha desarrollado trabajos como el informe UI-03-08 "Determinación de un Procedimiento de Ensayo para el Cálculo del IRI" de noviembre del 2008.

Por otro lado, la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar cada dos años una Evaluación de la Red Vial Nacional (ERVN) pavimentada, en la cual se incluye la evaluación de la regularidad del pavimento utilizando el Índice de Regularidad Internacional (IRI), de esta manera se han realizados evaluaciones desde el año 2004.

Por su parte la Unidad de Evaluación de la Red Vial Municipal en el año 2012 realizó un estudio denominado LM-PI-GM-08-12: "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." en el cual determinan rangos de IRI para la evaluación y gestión de las rutas municipales, la cual se encuentra actualmente en un proceso de uso y calibración.

En la Unidad de Auditoría Técnica desde el segundo semestre del año 2009, se elaboran informes de proyecto a cargo de la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes del CONAVI donde se evalúa el cumplimiento del Índice de Regularidad Internacional (IRI) según especificaciones como el CR-2002 ó actualmente el CR-2010, teniendo presente que a nivel cartelario no es un requerimiento. Esto se hace con el objetivo de evidenciar el nivel de regularidad con el que la Administración está recibiendo proyectos de mejoramiento y reconstrucción al no incluir dentro de las especificaciones cartelarias este índice. Además por las ventajas que ofrece este parámetro, tales como su relación directa con la vida útil del pavimento, los costos de operación, confort y seguridad de la ruta, entre otros. Entre los proyectos que se ha evaluado se pueden mencionar:

- Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 10, Sección Cartago-Paraíso.
- Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 102, Sección San Vicente de Moravia-San Isidro de Coronado.
- Evaluación del IRI, Mejoramiento Ruta No. 204, sección Zapote-San Francisco.

Informe LM-PI-002-2013	Fecha de emisión: Mayo 2013	Página 7 de 23
------------------------	-----------------------------	----------------

- Evaluación de Regularidad Superficial (IRI) y deterioros prematuros. Proyecto San Francisco- Colina.
- Mejoramiento de la Ruta Nacional N° 613 Sección Sabalito-Las Mellizas.
- Mejoramiento de la Ruta Nacional N° 167, sección Librería Universal - La Salle.
- Mejoramiento de la Ruta Nacional N° 34, sección Quepos-Baru.

Finalmente, como parte de la Comisión encargada de redactar las especificaciones para proyectos de obras del CONAVI que permitan valorar la aceptación y pago de obra nueva, de rehabilitación y reconstrucción de obras, utilizándose para ello los criterios del Índice de Regularidad Internacional (IRI), se le solicitó al LanammeUCR que convocara a una serie de sesiones para presentarle a los miembros de la comisión el material y conocimiento que se maneja a nivel institucional del LanammeUCR en lo relativo al tema del IRI.

A continuación se describe en la Tabla 1, las fechas y miembros presentes en dichas sesiones adicionalmente se indica cuales fueron los principales temas tratados por el LanammeUCR con el propósito de aportar información a la Comisión a manera de insumo para la redacción del informe final solicitado en el oficio DMOPT-0064-2013.

Tabla 1. Resumen de las sesiones de la comisión de IRI

No	Fecha	Presentes	Temas Principales
1	08/02/2013	Ing. Hugo Chaves Ing. Aníbal Sanabria Ing. Beatriz Porras Ing. Álvaro Ulloa Ing. Gustavo Badilla Ing. Ana Elena Hidalgo	<ul style="list-style-type: none"> • Presentación de los miembros de la comisión. • Coordinar reuniones semanales.
2	12/02/2013	Ing. Hugo Chaves Ing. Aníbal Sanabria Ing. Beatriz Porras Ing. Gustavo Badilla Ing. Ana Elena Hidalgo Ing. Jenny Chaverri	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta CD con información del LanammeUCR • Presentación conceptos teóricos y normativa a cargo del Ing. Gustavo Badilla. • Presentación del equipo de medición de IRI, laboratorio de campo LanammeUCR a cargo de la Ing. Melissa Rojas, jefe. • Revisión de consultas sobre el tema en la Comisión de revisión del CR-2010
3	19/02/2013	Ing. Hugo Chaves Ing. Aníbal Sanabria Ing. Beatriz Porras Ing. Gustavo Badilla Ing. Ana Elena Hidalgo Ing. Eliecer Arias Ing. José Pablo Aguiar Ing. Roy Barrantes Ing. Fabian Elizondo Ing. Jairo Sanabria	<ul style="list-style-type: none"> • Presentación del tema IRI relacionado con la Unidad de Gestión de la Red Vial Nacional a cargo del Ing. Roy Barrantes- • Presentación del tema IRI relacionado con la Unidad de Gestión Municipal a cargo del Ing. Eliecer Arias.
4	26/02/2013	Ing. Hugo Chaves Ing. Aníbal Sanabria Ing. Beatriz Porras	<ul style="list-style-type: none"> • Presentación de los Informes elaborados por miembros del LanammeUCR en cuanto al manejo de datos, análisis y medición del IRI a cargo del

		Ing. Gustavo Badilla	<p>Ing. Gustavo Badilla.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presentación de resultados de IRI proyectos nacionales analizados por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR a cargo del Ing. Gustavo Badilla.
5	05/03/2013	Ing. Hugo Chaves Ing. Anibal Sanabria Ing. Beatriz Porras Ing. Roy Barrantes Ing. Jairo Sanabria Ing. Benjamín Sandino Ing. Sofía Rodríguez Ing. Gabriela Baltodano	<ul style="list-style-type: none"> • Presentación de propuesta de medición de IRI en la concesión San José-San Ramón a cargo del Ing. Roy Barrantes. • Muestra de informe de laboratorio emitido por el laboratorio de campo del LanammeUCR y ejemplo de cálculo de IRI utilizando ProVal a cargo del Ing. Jairo Sanabria.
6	16/04/2013	Ing. Hugo Chaves Ing. Anibal Sanabria Ing. Beatriz Porras Ing. Sofía Rodríguez Ing. Benjamín Sandino Ing. Gustavo Badilla Ing. Ana Elena Hidalgo Ing. Álvaro Ulloa	<ul style="list-style-type: none"> • Se comento con los miembros de la comisión los principales aspectos que deberían estar incluidos en el informe presentado por parte del LanammeUCR, para que este informe fuese un insumo importante para el informe final de la comisión.
7	30/04/2013	Ing. Hugo Chaves Ing. Anibal Sanabria Ing. Beatriz Porras Ing. Sofía Rodríguez Ing. Ana Elena Hidalgo	<ul style="list-style-type: none"> • Los miembros de la comisión de IRI, realizaron comentarios sobre las sección 401.16 y 401.20 del CR-2010.
8	07/05/2013	Ing. Hugo Chaves Ing. Anibal Sanabria Ing. Beatriz Porras Ing. Sofía Rodríguez Ing. Ana Elena Hidalgo Ing. Benjamín Sandino Ing. Gustavo Badilla	<ul style="list-style-type: none"> • Comentarios sobre las sección 401.16 y 401.20 del CR-2010. • Aclaraciones sobre el informe que está realizando el LanammeUCR sobre el procedimiento de análisis y cálculo del IRI.
9	14/05/2013	Ing. Hugo Chaves Ing. Anibal Sanabria Ing. Beatriz Porras Ing. Ana Elena Hidalgo Ing. Roy Barrantes Ing. Gustavo Badilla	<ul style="list-style-type: none"> • Se procedió a revisar por segunda vez el informe preliminar "Propuesta para la definición de un procedimiento de medición y análisis del índice de regularidad internacional (IRI) LanammeUCR". • Se realizó una sesión de preguntas y respuestas con respecto al contenido de este informe. • Se facilitó a los miembros de la comisión esta versión preliminar en formato digital (PDF). • Se comentaron las conclusiones y recomendaciones del informe final de la comisión. • Se propone como fecha límite para la entrega del informe final del LanammeUCR el día 21/05/2013.

5. MARCO TEÓRICO

El desempeño funcional de la infraestructura vial, además de garantizar condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios de las carreteras, repercute en aspectos económicos, relacionados con los costos de operación de los vehículos y el mantenimiento de pavimentos.

Diferentes investigaciones realizadas, revelan que los costos de operación de los vehículos dependen de la magnitud de las irregularidades superficiales del pavimento, afectando la velocidad de circulación, deterioro de los vehículos y el consumo de combustible.

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

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

Debido a que el Índice de Regularidad Internacional (IRI) es geográficamente transferible, repetible y estable con el tiempo, se ha convertido en una medición atractiva y conveniente para el control de calidad de la construcción de nuevos pavimentos. Además de permitir evaluar la regularidad superficial de la carretera y valorar el confort y seguridad de los usuarios, se relaciona indirectamente con el desempeño estructural del pavimento y el costo de operación de los pavimentos.

Es posible encontrar investigaciones en las cuales se ha evaluado la influencia de valores iniciales de IRI con el comportamiento del pavimento a largo plazo. Estas demuestran 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.

Cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

En la norma de ensayo ASTM E 867-06 Standard Terminology Relating to Vehicle Pavement Systems, se define el concepto de Roughness, cuya traducción al español es Regularidad y viene dada por: *“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.”*¹.

De esta manera, se tiene que el índice de un perfil es un valor calculado que resume las variaciones en el perfil de la superficie. Los detalles del cálculo determinan el significado y significancia del índice. El valor del índice puede estar relacionado con un modelo matemático del movimiento de un vehículo o por otros índices comúnmente utilizados.

Se dice que un índice es portable y reproducible, cuando este puede ser calculado a partir de un perfil verdadero y por cualquier perfilógrafo válido. Además, se habla que es estable en el tiempo, cuando puede ser comparado en el tiempo; puesto que el concepto de perfil verdadero tiene el mismo significado año a año y la subsecuente transformación matemática del perfil verdadero también es estable con el tiempo.

De acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades, se expresa en m/km. Estas unidades indican la sumatoria del movimiento vertical de una masa suspendida sobre un amortiguador y suspensión (con características determinadas), producto de las irregularidades de la superficie del pavimento (perfil longitudinal), las cuales se expresan en metros por kilómetro.

El cálculo del Índice de Regularidad Internacional (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 Índice de Regularidad Internacional (IRI) como indicador estadístico de la irregularidad superficial de pavimento representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, IRI = 0) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

¹ Unidad de Investigación, LanammeUCR. *“Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI”*, Costa Rica, 2008.

El perfil ideal 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 tránsito².

La longitud del tramo a medir es importante para la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI), es necesario establecer un intervalo de longitud, ya que intervalos de longitud mayores ocultan niveles puntuales altos de regularidad superficial en los pavimentos, obteniendo de una manera inadecuada valores de Índice de Regularidad Internacional (IRI) satisfactorios. Por otra parte la utilización de intervalos de longitud menores para la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) puede detectar niveles puntuales altos de regularidad, contribuyendo a obtener pavimentos con mejores niveles de seguridad y confort.

Consideraciones e implicaciones de la medición del Índice de Regularidad

Las consideraciones más importantes sobre el Índice de Regularidad Internacional son³:

- a. El IRI se determina mediante un cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea de perfil longitudinal cuyo resultado es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil.
- b. Para el cálculo del IRI es importante considerar la representatividad de las ordenadas que se introducen, es decir, la confiabilidad de la técnica o equipo con el que se obtiene el perfil y la frecuencia del muestreo utilizado.
- c. El cálculo matemático del IRI relaciona la acumulación de desplazamientos del sistema de suspensión de un vehículo modelo, dividida entre la distancia recorrida por el vehículo a una velocidad de 80 km/hora, y se expresa en mm/m o m/km. 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. A partir del estudio

^{2 y 3} Unidad de Investigación, LanammeUCR. "Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI", Costa Rica, 2008.

realizado por el Banco Mundial, se propuso una escala de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías (ver Figura No 2).

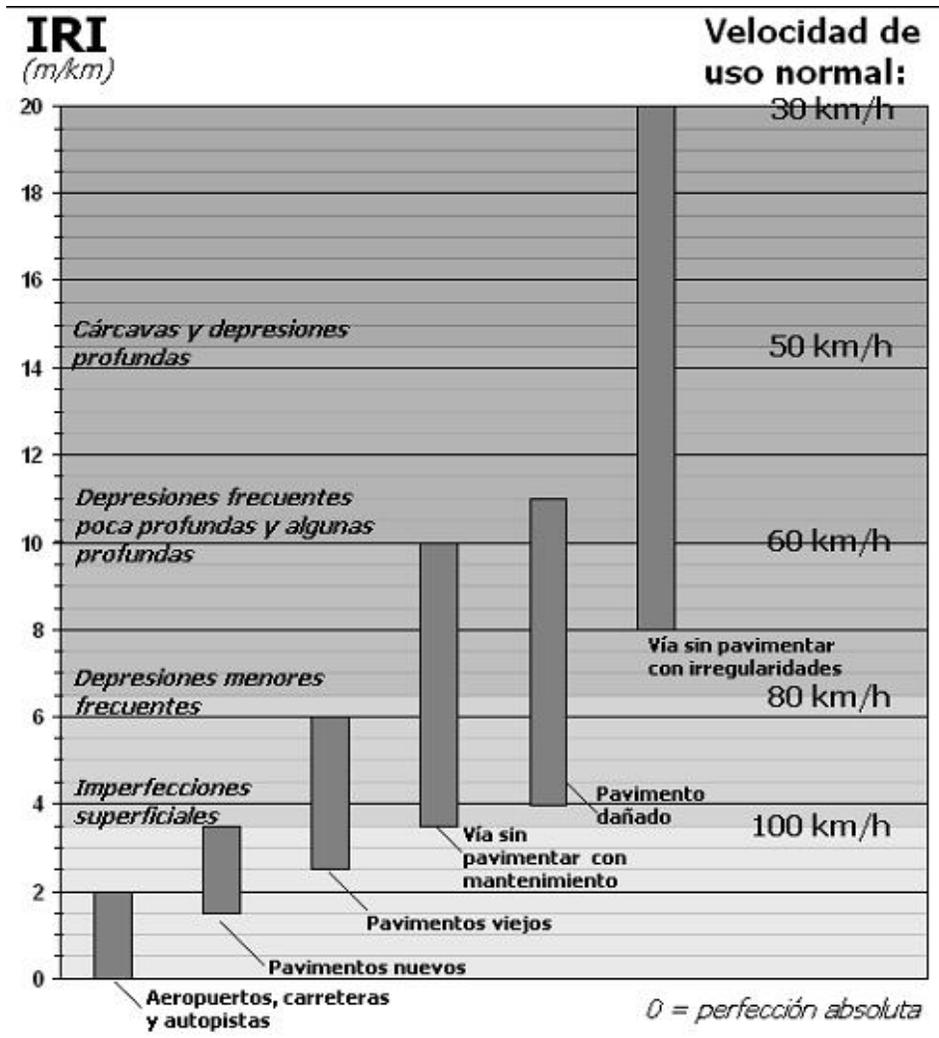


Figura 1. Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías

Fuente: Unidad de Investigación, LanammeUCR. "Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI", Costa Rica, 2008.

Especificaciones de IRI empleadas en otros países

Actualmente a nivel internacional se están llevando a cabo proyectos para afinar más aún el valor del Índice de Regularidad Internacional inicial en la construcción de pavimentos. Las investigaciones tienen como objetivo proponer nuevos valores iniciales del Índice de Regularidad Internacional para la recepción de pavimentos, proponer acciones de mantenimiento efectivas y recomendar especificaciones para controlar el Índice de Regularidad Internacional durante el proceso constructivo.

En el contexto latinoamericano países como Chile y México, utilizan el valor de Índice de Regularidad Internacional como uno de los parámetros de aceptación de proyectos de obra vial. En el contexto centroamericano, El Salvador especifica que el valor de Índice de Regularidad Internacional medido en tramos de 100m, no debe sobrepasar los 2,5 m/km. para pavimentos de concreto hidráulico de vías interurbanas⁴.

A continuación se presentan en la Tabla 1, algunas de las especificaciones de Índice de Regularidad Internacional empleadas en otros países, así como el intervalo de medición empleado en cada uno.

⁴ Ventura Espinal José Antonio, Alvarenga Edwin. "Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Ministerio de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y de Desarrollo Urbano. El Salvador.

Tabla 2. Especificaciones Internacionales de Índice de Regularidad Internacional (IRI)

Lugar	Procedimiento general	Requerimientos de IRI según tipo de pavimento o superficie		
		Asfalto	Hidráulico	Tratamiento superficial
Ministerio de Obras Públicas de Chile	IRI obtenido en 5 tramos consecutivos con un intervalo de medición de 200 m	Promedio de 5 tramos consecutivos ≤ 2.0 m/km Promedio Individual ≤ 2.8 m/km		Promedio de 5 tramos consecutivos ≤ 3.0 m/km Promedio Individual ≤ 4.0 m/km
	Recepción de Obra Nueva			
	No se indica el intervalo de medición	IRI ≤ 1.5 m/km, en el 50% de los datos IRI ≤ 1.9 m/km, en el 85% de los datos IRI ≤ 2.3 m/km, en el 99% de los datos	IRI ≤ 2.0 m/km, en el 50% de los datos IRI ≤ 2.5 m/km, en el 85% de los datos IRI ≤ 2.8 m/km, en el 99% de los datos	IRI ≤ 2.4 m/km, en el 50% de los datos IRI ≤ 2.9 m/km, en el 85% de los datos IRI ≤ 3.4 m/km, en el 99% de los datos
CR-2002	IRI obtenido en 5 tramos consecutivos con un intervalo de medición de 200 m	Promedio de 5 tramos consecutivos ≤ 2.0 m/km Promedio Individual ≤ 3.0 m/km		----
Ministerio de Fomento de España	IRI obtenido en tramos con un intervalo de medición de 100 m	IRI ≤ 1.5 m/km, en el 50% de los tramos del proyecto IRI ≤ 2.0 m/km, en el 80% de los tramos del proyecto IRI ≤ 2.5 m/km, en el 100% de los tramos del proyecto		
WisDOT, Wisconsin Estados Unidos	IRI obtenido en tramos de 1.609 km (1 milla)	IRI m/km	Tiempo	----
		< 1.1 < 1.17 < 1.29 < 1.33 < 1.37 < 1.45	Pav. Nuevo 1 Año 2 Años 3 Años 4 Años 5 Años	
Suecia	IRI obtenido en tramos de 20 m IRI obtenido en tramos de 200 m	IRI ≤ 1.4 m/km IRI ≤ 2.4 m/km		----
Ministerio de Obras Públicas de El Salvador	Caminos Rurales			
	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI ≤ 3.0 m/km	----	----
	Vías Interurbana			
	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI ≤ 2.0 m/km	IRI ≤ 2.5 m/km	----
Quebec, Canadá	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI ≤ 1.2 m/km, en el 70% de los datos IRI ≤ 1.4 m/km, en el 100% de los datos	----	----
Eslovenia	Carreteras de alto tránsito			
	IRI obtenido en tramos de 20 m	2.0 \leq IRI \leq 2.6 m/km		----
	IRI obtenido en tramos de 100 m	1.2 \leq IRI \leq 1.8 m/km		
	Carreteras de bajo tránsito			
IRI obtenido en tramos de 20 m IRI obtenido en tramos de 100 m	4.0 \leq IRI \leq 4.6 m/km 3.0 \leq IRI \leq 3.8 m/km		----	
Portugal	No se indica el intervalo de medición	IRI ≤ 1.5 m/km, en el 50% de los datos IRI ≤ 2.5 m/km, en el 80% de los datos IRI ≤ 3.0 m/km, en el 90% de los datos	IRI ≤ 2.0 m/km, en el 50% de los datos IRI ≤ 2.5 m/km, en el 75% de los datos IRI ≤ 3.0 m/km, en el 100% de los datos	----

Fuente: Informe UI-03-08, Unidad de Investigación, LanammeUCR. "Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI", Costa Rica, 2008.

Especificaciones de Índice de Regularidad Internacional (IRI) para Costa Rica

En el caso de Costa Rica se puede mencionar que el primer intento por introducir el parámetro de regularidad superficial (IRI) se dio en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica, CR-2002, pese a que este Manual no fue aprobado ni oficializado contiene especificaciones relacionadas con la regularidad superficial en las secciones 406.23 "Control de Regularidad (IRI)", esta sección incluye los requerimientos de regularidad superficial en pavimentos flexibles, y la sección 501.14 "Control del índice de regularidad Internacional (IRI)" para pavimentos en concreto.

Actualmente en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010, oficializado en el Decreto Ejecutivo N° 36388 MOPT del 20 de enero de 2011, como instrumento de aplicación y observancia técnico/jurídica en el desarrollo y ejecución de las obras públicas pertinentes contratadas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y por el Estado costarricense, se incluye especificación del parámetro de regularidad (IRI) para diferentes trabajos, a continuación se citan algunas de las secciones del CR-2010 donde se encuentra esta información:

- 401.16 Control de regularidad (IRI) en carpetas de mezclas asfálticas en caliente
- 401.17 Control de regularidad (IRI) en sobrecapas, reciclajes con sobrecapas o sobrecapas sobre fresados, de mezcla asfáltica en caliente.
- Sección 410.) Mezclas Asfálticas Procesadas En Frío de Graduación Densa con Emulsión Asfáltica
- Sección 415.) Perfilado (Fresado) de Capas Asfálticas, Sección 415.06
- 501.14 Control de regularidad (IRI) en pavimentos de losas de hormigón hidráulico
- 503.15 Control de regularidad (IRI) en las sobrecapas de concreto.

Base de medición de Índice de Regularidad Internacional (IRI)

Cuando se habla del valor del IRI de en una vía es necesario añadir cada qué longitud se determina dicho valor, ya que el IRI es el valor medio de los IRI unitarios o puntuales que se obtienen.

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

Informe LM-PI-002-2013	Fecha de emisión: Mayo 2013	Página 16 de 23
------------------------	-----------------------------	-----------------

altos de regularidad superficial 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 regularidad, contribuyendo a obtener pavimentos con mejores niveles de seguridad y confort.

Si se requiere hacer un análisis a nivel de red (ejemplo: priorización de rutas para su intervención), entonces se suele utilizar una base de medición a cada 200m. Por otro lado, si se desea hacer una evaluación a nivel de proyecto (ejemplo: control de calidad y aceptación), entonces la base de medición disminuye, por lo que aplicaría utilizar una base de medición a cada 100m, 50m y 10m, según el propósito de la medición.

A continuación en la Tabla 3 se muestra las bases de medición utilizadas por el equipo auditor para el análisis del IRI.

Tabla 3. Bases de medición de IRI y su objetivo.

Base de medición	Objetivo
Cada 200m.	Aplicación General (Por ejemplo: Evaluaciones realizadas para medir desempeño en evaluación a nivel de red)
Cada 100m.	Verificación de calidad general del proyecto, CR-2010 (Actividad de verificación de cumplimiento de especificaciones generalmente realizada por la Administración contratante)
Cada 50 m.	Verificación de calidad específica del proyecto (Actividad de verificación de cumplimiento de especificaciones generalmente realizada por la Administración contratante en proyectos de alta importancia estratégica dentro de la Red Vial)
Cada 10m.	Control de calidad e identificación de defectos a nivel de proyecto (Actividad de control de calidad generalmente realizada por el contratista durante la ejecución de las obras)

Por tanto, el propósito final de realizar los cálculos de IRI con diferentes bases de medición, es tener una gama de escalas de evaluación de la regularidad superficial para el planteamiento de acciones correctivas y preventivas, según la aplicación que considere oportuna.

6. PROPUESTA PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) LANAMMEUCR

El proceso de medición del Índice de Regularidad Internacional se basa en las Normas de ASTM E 950 “Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference”, la cual abarca la medición y almacenamiento de datos de perfil medidos con base en una referencia inercial establecida por acelerómetros; y la Norma ASTM E 1170 “Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces”, la cual abarca el cálculo de la respuesta vehicular a las regularidades superficiales de la carretera.

El IRI es un indicador independiente del equipo de medida. Depende únicamente de la medida de los datos de entrada de la elevación perfil longitudinal. Al existir diferentes equipos para la medición del perfil longitudinal, es importante definir los requisitos del perfil longitudinal, por lo que se recomienda que este sea reportando un valor del perfil longitudinal a un intervalo de 250 mm. (Intervalo de almacenamiento según ASTM E 950-98) que permita calcular el IRI con la precisión, exactitud y frecuencia requerida. Y un intervalo de medición vertical (Resolución de las medidas verticales según ASTM E 950-98) menor o igual a 0.1 mm (0.005 in). Los equipos que se utilicen deben asegurar una medición del perfil longitudinal que sea precisa, exacta y reproducible, de forma que aseguren comparaciones confiables. Además del perfilómetro laser, se puede incluir equipo manual un poco más simple como el control con topografía o el Dipstick, que tienen un alto grado de precisión.

De igual manera para la medición de la regularidad debe considerarse lo establecido en el Apéndice E del Highway Performance Monitoring System Field Manual (“Measuring Pavement Roughness”) del Office of Highway Policy Information de la FHWA, el cual menciona que los valores de IRI deben ser obtenidos cuando existan buenas condiciones climáticas, preferiblemente cuando la superficie de la carretera se encuentre seca. Así mismo, la medición deberá determinarse en sectores homogéneos, que corresponden a un pavimento de estructuración uniforme y que no es dividido por puentes, líneas férreas, cruces de calles y otros que puedan alterar el perfil longitudinal del camino e incrementar el valor del IRI (singularidades). Es importante que la Administración establezca un circuito de tramos de control, que este monitoreado constantemente con datos de la medición y cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Para los cuales cualquier contratista deba comparar y verificar sus resultados para certificar y verificar su equipo de medición y

Informe LM-PI-002-2013	Fecha de emisión: Mayo 2013	Página 18 de 23
------------------------	-----------------------------	-----------------

determinar su idoneidad en la medición del perfil longitudinal, así como también los procedimientos de análisis utilizados para el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

El IRI se calculará a partir del perfil longitudinal en tramos de 100 metros. Para el promedio de cada 10 valores consecutivos (media móvil) el valor deberá coincidir con el establecido en la especificación de la normativa vigente, ya sea el CR-2010 o especificaciones especiales incluidas en el cartel de licitación.

En caso de presentarse valores mayores a los establecidos para el promedio de 10 valores consecutivos de IRI la Administración deberá establecer un plazo de tiempo que considere apropiado para que el Contratista, a partir del reporte del Órgano de Supervisión o entidad competente aceptada por el Contratante mejore la condición de la calzada y así obtener los valores aceptados. Posteriormente en el momento en que se dé la finalización oficial de la obra el Ingeniero de Proyecto ordenará la medición final de la regularidad en la totalidad de la obra como procedimiento de aceptación definitiva.

Se realizarán mediciones del perfil longitudinal, el cual corresponde a una serie de datos que permiten el posterior cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Con los datos del perfil longitudinal, es posible calcular el valor de IRI en tramos de cualquier longitud, lo que permite analizar la condición funcional del proyecto bajo cualquier nivel de detalle deseado.

Se recomienda que los datos obtenidos del perfil longitudinal sean guardados en un archivo en formato ERD⁵. Esto debido a que, estos archivos pueden ser analizados con programas tales como el RoadRuf o el PROVAL; los cuales permiten realizar análisis posteriores de los resultados obtenidos; por ejemplo usando otros intervalos o longitudes de evaluación, y de ser necesario permite analizar singularidades que podrían darse en el tramo evaluado.

Se debe considerar la presencia de “singularidades”, debido a que IRI involucra la diferencia entre el perfil longitudinal teórico y el perfil longitudinal existente, es un hecho que se pueden presentar ciertas singularidades que pueden afectar el cálculo del IRI.

Se considerará como singularidades elementos que provoquen una alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas o que su presencia sea ineludible para el Contratista y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se

⁵ La información relacionada con los archivos ERD puede encontrarse en la página web del Instituto de Investigación de Transportes de la Universidad de Michigan: http://www.umtri.umich.edu/erd/software/erd_file.html.

encuentra. Se pueden citar puentes y cruces de ferrocarril, que por diseño geométrico alteran el perfil del camino.

Posteriormente identificadas las singularidades es importante eliminar los datos dentro del área de influencia de la singularidad con el objetivo que esta no afecte los datos de IRI. Se define área de influencia asociada a la singularidad como: El largo de una singularidad corresponde a la suma de su longitud más su área de influencia que son 40 m hacia delante en el sentido de la medición. Esta área de influencia tiene importancia en aquellas mediciones realizadas con equipos como el perfilómetro láser, aquellas mediciones realizadas con otros equipos como perfiles topográficos, etc, no presentan esta condición, únicamente se debe eliminar la singularidad del cálculo final del IRI.

Por lo que como parte del proceso de análisis de datos de IRI, se debe eliminar el dato correspondiente a la singularidad y 40 metros después (área de influencia). En aquellas secciones donde la presencia de singularidades sea tan grande como para impedir una medición de un perfil longitudinal suficientemente representativo de la sección analizada, se podrían implementar procedimientos de medición que evalúen la sección en ambos sentidos de circulación, eliminando de esta forma la zona de influencia, sustituyendo aquellos datos dentro de las áreas de influencia de las singularidades en un sentido de circulación por los medidos en la evaluación en el otro sentido y considerando únicamente las singularidades como elementos aislados a ser eliminados del cálculo final del IRI.

Para reportar los resultados de la evaluación se sugiere seguir la norma AASHTO PP37-02 "Estándar Practice for Quantifying Roughness of Pavements", en la cual se reporta el valor promedio del IRI para los sensores izquierdo y derecho del perfilómetro láser, cuando se utilice este equipo, que corresponden a las huellas de las llantas del vehículo, reportando de esta manera el Índice de Regularidad Promedio (Mean Roughness Index, MRI), los resultados deberán expresarse en unidades de m/km con al menos un decimal. También es necesario que se incluya dentro del entregable en formato digital los datos del perfil longitudinal, tal y como se menciono anteriormente.

7. RECOMENDACIONES

Le corresponde a la Administración definir e implementar el procedimiento que considere apropiado para la aplicación del mismo a nivel nacional. A continuación se indican algunas recomendaciones:

- El LanammeUCR recomienda establecer inicialmente rangos de cumplimiento, con el objetivo de flexibilizar la normativa y lograr mayor aceptación de la misma. Los valores establecidos en estos rangos deben ser tales que cumplan un estándar mínimo adecuado y aceptado de la regularidad de superficie; cuyo valor pueda ser reducido sucesivamente conforme se observe una mejoría en los estándares de la red vial y acorde con una política institucional a mediano y largo plazo de valor de IRI aceptable. Es decisión de la Administración establecer el valor mínimo requerido dentro del rango recomendado.
- Detallar la clasificación de la red de carreteras y caminos de Costa Rica en la cual se señalen claramente las rutas que deben ser evaluadas, por ejemplo:

Dependiendo del tipo de ruta que se desea intervenir, establecer un rango de valores de IRI.

Estas recomendaciones se pueden presentar en una tabla resumen como la descrita a continuación.

Clasificación	Tipo de superficie	Aplicación de IRI	Rango de IRI [†] (m/km)	Base de medición (m)
Red Vial Nacional				
Carreteras primarias	Pavimentada	Si	0 - 1,9	100
Carreteras secundarias	Pavimentada	Si	0 - 2,5	100
	Lastre	No	-	
Carreteras terciarias	Pavimentada	Si	0 -,3,0	100
	Lastre	No	-	
Rutas de travesía	Pavimentada	Si	0 -3,0	100
Red Vial Cantonal				
Calles Locales	Pavimentada	Si	0 - 3,6	25*
Caminos vecinales	Pavimentada	Si	0 - 3,6	25*
	Lastre	No		
Caminos no clasificados	Lastre o Tierra	No		

*Es recomendable hacer esta medición con una base de medición menor debido a que en proyectos municipales existe mucha irregularidad.

[†]El dato de IRI reportado en esta tabla equivale al promedio de los datos obtenidos.

- Incluir dentro del procedimiento una tabla que describa dependiendo del tipo de intervención a realizar si se debe o no aplicar la especificación del parámetro del IRI.

Intervención	Aplicación de IRI
Obra nueva con estructura de pavimento	Si
Obras de mejoramiento de la estructura de pavimento existente	Si
Obras de reconstrucción de la estructura de pavimento.	Si
Carpetas sobre pavimentos existentes, con el establecimiento de cotas de rasante	Si

- Se recomienda que en los informes del consultor de calidad que realice la medición del perfil y calcule los datos de IRI, se presente a la Administración, además de los valores de IRI calculados en la base de medición solicitada por el Cartel, los datos del perfil longitudinal cada 250 mm, con el objetivo que la Administración sea capaz de calcular los datos de IRI con la base de medición que considere importante valorar.
- En estos informes también es necesario incluir fotografías y detalle de las singularidades detectadas por el consultor y del área de influencia establecida con el objetivo de que el Ingeniero de Proyecto por parte de la Administración valore la pertinencia de la misma.
- La Administración puede establecer y exigir recomendaciones mínimas admisibles de periodicidad de verificaciones y calibraciones de los equipos utilizados para la medición de perfiles longitudinales.
- La Administración puede establecer un tramo o sección de pavimento de control patrón en el cual el consultor de calidad que pretenda realizar la medición del perfil y cálculo del IRI pueda evaluar la idoneidad de sus equipos y procesos.
- Se sugiere que la Administración, en conjunto con el LanammeUCR y Contratistas evalúen la posibilidad de establecer algún curso de capacitación específico en la interpretación, análisis y procesamiento de información resultante de mediciones del Índice de Regularidad Superficial con la finalidad de evaluar, certificar y homologar las metodologías empleadas.

ANEXO 1

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) MEDIANTE UN PERFILÓMETRO INERCIAL

**Laboratorio de Campo
LanammeUCR**

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	IT-LC-03 (ASTM E 950) (AASHTO PP 50) (AASHTO PP 37)
	MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) MEDIANTE UN PERFILÓMETRO INERCIAL	Versión 02
		Páginas: 1/10

Preparó:	Jefe del Laboratorio de Campo 06-10-10	
Revisó:	Jefe y Técnicos de Laboratorio de Campo 06-10-10	
Revisó:	Coordinador de Laboratorios de Infraestructura Vial 06-10-10	
Revisó:	Coordinador General de Laboratorios 06-10-10	
Revisó:	Coordinador de la Unidad de Gestión de Calidad 06-10-10	
Rige desde:	06-10-10	Sustituye a: IT-LC-03, versión 01

Copia controlada No. _____ entregada a _____

 <p>LanammeUCR</p>	<p>Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR</p>	<p>IT-LC-03 (ASTM E 950) (AASHTO PP 50) (AASHTO PP 37)</p>
	<p>MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) MEDIANTE UN PERFILÓMETRO INERCIAL</p>	<p>Versión 02</p>
		<p>Páginas: 2/10</p>

1. ALCANCE

Este método de ensayo cubre la medición y registro del perfil de la superficie recorrida por un vehículo con un acelerómetro estableciendo una referencia inercial entre el perfil de la carretera y el vehículo.

El método de ensayo usa la medida de la distancia entre un plano de referencia inercial y la superficie recorrida; para ello se determina la aceleración de la plataforma inercial, debido a cambios en la elevación de la superficie, a lo largo de la longitud atravesada con el vehículo instrumentado.

Resumen del método de ensayo: se selecciona la tasa de muestreo dependiendo de las condiciones de la calzada y los requerimientos de los datos para su posterior procesamiento.

El vehículo de ensayo se conduce en la pista de rodaje o en la ubicación lateral correcta sobre la sección de superficie que va a ser medida. Los transductores miden la aceleración vertical del vehículo y la distancia vertical entre el acelerómetro y la superficie recorrida y la distancia longitudinal. Esas señales del transductor son combinadas por una computadora para producir el perfil longitudinal de la superficie recorrida.

2. DESCRIPCIÓN DEL OBJETO A ENSAYAR

El objeto a ensayar consiste en caminos, carreteras en concreto asfáltico flexible, o pavimentos rígidos de concreto con cemento Pórtland, o pavimentos compuestos. Los pavimentos rígidos puede ser pavimento de concreto con juntas, pavimento reforzado y con juntas o pavimento continuamente reforzado.

3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

REGISTRO DE PERFILES: registro de datos de la elevación de la superficie, en una longitud determinada.

SEGMENTO DE PERFIL: parte de un registro de perfil para el cual el índice de perfil será calculado.

PERFIL LONGITUDINAL: el conjunto de desviaciones perpendiculares de la superficie del pavimento respecto a un plano de referencia horizontal establecido en la dirección del carril.

 <p>LanammeUCR</p>	<p>Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR</p>	<p>IT-LC-03 (ASTM E 950) (AASHTO PP 50) (AASHTO PP 37)</p>
	<p>MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) MEDIANTE UN PERFILÓMETRO INERCIAL</p>	<p>Versión 02</p>
		<p>Páginas: 3/10</p>

4. MATERIALES Y EQUIPO

4.1 Equipo de Ensayo: El equipo de ensayo consiste en un vehículo equipado con transductores y perfil computarizado y equipo que procese los datos. Los transductores son usados para medir la aceleración vertical, desplazamiento y la distancia recorrida. La computadora es la que procesa las salidas del transductor para producir un perfil de la superficie ensayada. El equipo de ensayo deberá tener capacidad suficiente para almacenar la información. Si se miden las 2 huellas por las que pasa el vehículo, los sensores láser de desplazamiento se deben colocar separados una distancia aproximada de 1,5 m a 1,8 m (58 in a 71 in).

4.2 Acelerómetro. Un acelerómetro mide la aceleración vertical, la cual es usada para estabilizar un eje de referencia inercial. El eje sensitivo del acelerómetro se montará sobre el vehículo de manera perpendicular a la superficie recorrida. El rango del acelerómetro debe ser suficiente para estabilizar los niveles esperados de aceleración por el movimiento de rebote del vehículo (típicamente $\pm 1g$).

4.3 Sensor láser de desplazamiento. El sensor láser es un transductor que mide el desplazamiento entre el acelerómetro y la superficie recorrida. El sensor láser es colocado en el vehículo de manera que su eje de medición se encuentre perpendicular a la superficie recorrida y alineado con el eje sensible del acelerómetro. El sensor láser deberá medir continuamente el desplazamiento vertical a la superficie recorrida, los intervalos de medición para el cálculo del perfil deberán cumplir los requerimientos que se muestran en la Tabla 1 para el cálculo del perfil.

Tabla 1. Muestreo longitudinal

Clase 1	menos que o igual a 25 mm (1 in)
Clase 2	más grande que 25 mm (1 in) a 150 mm (6 in)
Clase 3	más grande que 150 mm (6 in) a 300 mm (12 in)
Clase 4	más grande que 300 mm (12 in)

4.4 Transductor de distancia longitudinal (DMI). El transductor de distancia produce una serie de pulsos; los intervalos entre los cuales se producen los pulsos se asocian a una distancia en una superficie recorrida con la resolución necesaria para satisfacer la Tabla 1. Los pulsos son usados para medir la velocidad y pueden ser usados para convertir el tiempo transcurrido en una distancia. La precisión de la medición de distancia se establece por la comprobación.

 <p>LanammeUCR</p>	<p>Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR</p>	<p>IT-LC-03 (ASTM E 950) (AASHTO PP 50) (AASHTO PP 37)</p>
	<p>MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) MEDIANTE UN PERFILÓMETRO INERCIAL</p>	<p>Versión 02</p>
		<p>Páginas: 4/10</p>

5. MATERIALES O PATRONES DE REFERENCIA

No aplica para este instructivo de ensayo.

6. CONDICIONES AMBIENTALES

No se requieren condiciones ambientales especiales para la realización del ensayo. Sin embargo, como la distancia vertical entre la superficie del pavimento y el eje de referencia inercial horizontal se hace mediante sensores láser, se requiere que en la superficie de la carretera no hayan películas de agua que puedan alterar las mediciones que se realizan con los sensores láser

7. PROCEDIMIENTO DE COMPROBACIÓN

7.1. Debido al nivel de rendimiento requerido del equipo de medición de perfil, es importante que el sistema y sus componentes sean comprobados periódicamente conforme a las recomendaciones del fabricante. Es importante tener claro, que los procedimientos de comprobación son los recomendados por el fabricante porque en sus procedimientos se pueden establecer los ajustes que sean necesarios. Con la finalidad de reducir o eliminar la participación del operador en el procedimiento de comprobación, el procedimiento deberá ser lo más automatizado posible.

7.2. Transductores:

7.2.1 Acelerómetro: La comprobación de estos componentes deberá hacerse mensualmente si su uso es constante. En caso de que el uso disminuya, la frecuencia de comprobación podría disminuirse. Deberá comprobarse cuando alguno de los componentes del perfilómetro inercial ha sido cambiado, modificado o reinstalado, o cuando se planea evaluar un proyecto grande. Se toman dos lecturas, una con los acelerómetros en posición inversa y otra en la posición normal. El programa del perfilómetro inercial toma en cuenta las diferencias entre las lecturas (lo cual corresponde a dos veces la aceleración de la gravedad) para establecer los factores de ajuste y la sensibilidad del acelerómetro. La medición de los nuevos factores de ajuste deberán mostrarse para someterlos a la aprobación del operador.

7.2.2 Sensores láser de desplazamiento: La comprobación de estos componentes deberá hacerse mensualmente si su uso es constante. En caso de que el uso disminuya, la frecuencia de comprobación podría disminuirse. Deberá comprobarse cuando alguno de los componentes del perfilómetro inercial ha sido cambiado, modificado o reinstalado, o cuando se planea evaluar un proyecto grande. Los sensores láser de desplazamiento son comprobados estáticamente por medio de “una barra de

 <p>LanammeUCR</p>	<p>Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR</p>	<p>IT-LC-03 (ASTM E 950) (AASHTO PP 50) (AASHTO PP 37)</p>
	<p>MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) MEDIANTE UN PERFILÓMETRO INERCIAL</p>	<p>Versión 02</p>
		<p>Páginas: 5/10</p>

comprobación” proveída por el fabricante. La barra de comprobación se coloca en la trayectoria de los láseres en dos separaciones diferentes, separados exactamente 100 mm. Las lecturas en esos dos niveles serán almacenadas automáticamente y usadas por el programa del perfilómetro inercial para derivar la sensibilidad del sensor láser y compensar cualquier diferencia. La medición de los nuevos factores de ajuste deberán mostrarse para someterlos a la aprobación del operador.

7.2.3. Transductor de distancia longitudinal (DMI): La medición de la distancia longitudinal está estrechamente relacionada con el radio de las llantas del vehículo, y este radio depende de la presión, temperatura y carga del vehículo. El DMI debe ser comprobado en cada oportunidad en un tramo de carretera cuyo pavimento se encuentre libre de deterioros. El pavimento del tramo de calibración debe ser lo más plano, recto y nivelado posible. No obstante, se requiere que la longitud se mida con mucha precisión (se recomienda un tramo con una longitud de al menos 1 kilómetro de longitud). Antes de la comprobación del DMI, todas las llantas deben estar infladas a la presión normal de operación. Si es posible, el vehículo debe ser impulsado para calentar los neumáticos a las temperaturas de funcionamiento normales. La comprobación del DMI se realiza conduciendo el vehículo sobre el tramo de pavimento (en el cual se ha marcado previamente el punto de inicio y el punto final) y comparando la longitud medida y la longitud actual, finalmente se actualiza el factor de ajuste del DMI para corregir la diferencia en la medición. La medición de los nuevos factores de ajuste deberán mostrarse para someterlos a la aprobación del operador.

8. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

- 8.1.1** Antes de iniciar cualquier evaluación deberá verificarse la presión de las llantas y ajustarse a las especificaciones del fabricante, revisar la condición de las llantas (balance, rugosidad). Debe inspeccionarse los lentes del sensor láser de suciedad, humedad o daños, y limpiarlos si es necesario. Asegurarse de que todos los componentes estén conectados adecuadamente.
- 8.1.2** Definir el tramo de ensayo. En este caso el operador será informado del tramo de ensayo que va a ser medido: incluyendo el comienzo, final, sentido de evaluación y cualquier otra característica que va a ser identificada dentro de la sección de ensayo. Anotar en el Registro RC-345, la información referente al tramo de ensayo y las condiciones del ensayo.
- 8.1.3** Encender todos los dispositivos electrónicos antes del ensayo para permitir a los componentes electrónicos estabilizarse.

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	IT-LC-03 (ASTM E 950) (AASHTO PP 50) (AASHTO PP 37)
	MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) MEDIANTE UN PERFILÓMETRO INERCIAL	Versión 02
		Páginas: 6/10

- 8.1.4** Configurar los parámetros de almacenamiento del ensayo, tales como intervalo de almacenamiento de datos del perfil longitudinal, cálculo de Índice de Regularidad Internacional (IRI), de acuerdo a la solicitud del cliente (ver manual de operación del fabricante).
- 8.1.5** Ubicar el vehículo de medición al menos 150 m antes del punto de inicio del tramo de ensayo, con la finalidad de llevar el equipo a la velocidad deseada. Evitar medir a velocidades por debajo de 30 km/h y velocidades superiores a 120 km/h.
- 8.1.6** Mientras se realiza el ensayo deberán indicarse las principales particularidades o características que pueden ser identificadas, entre ellas se mencionan las que se muestran en la Tabla 2, así como la simbología que las representa:

Tabla 2. Simbología de eventos a utilizarse durante la evaluación

Evento	Significado
VH	Alta velocidad de medición
VL	Baja velocidad de medición
VN	Velocidad normal de medición
C	Cambio de carril
V	Cambio de velocidad
F	Final del tramo de evaluación
I	Inicio del tramo de evaluación
P	Puente

- 8.1.7** Si la identificación de características dentro de la sección de ensayo va a ser detectada automáticamente, el operador deberá colocar una marca apropiada sobre la superficie recorrida en los lugares que van a ser identificados. Es muy importante que las huellas de las ruedas sean identificadas sobre la carretera para que la medida se haga sobre estas mismas o en la trayectoria que solicite el cliente.
- 8.1.8** Evitar cambios bruscos de velocidad para minimizar aceleraciones no deseadas en las mediciones de los transductores.

8.2 Criterios y requisitos de aprobación y rechazo

- 8.2.1 Precisión** - La precisión del equipo de medición hará referencia a cuán constantes son las diferentes medidas obtenidas en la medición de la elevación de un perfil del pavimento.

 <p>LanammeUCR</p>	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	IT-LC-03 (ASTM E 950) (AASHTO PP 50) (AASHTO PP 37)
	MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) MEDIANTE UN PERFILÓMETRO INERCIAL	Versión 02
		Páginas: 7/10

La precisión en las medidas del perfil del pavimento es una combinación específica de la repetibilidad de la desviación estándar de los valores observados en localizaciones especificadas a lo largo del perfil.

De esta manera, la precisión de un perfil del pavimento está expresada como el promedio de múltiples desviaciones estándar repetitivas en la diferencia de elevación de los valores medidos de la elevación del perfil.

La longitud del perfil del pavimento medido que va a ser usado para la determinación de la precisión será 320 m. El número de lugares especificados a lo largo del perfil del pavimento será 1057 a intervalos de 0,3 m.

Es necesario realizar al menos 10 mediciones del perfil del pavimento para determinar la precisión del equipo. Además deberá controlarse estrictamente las variables independientes que afectan el proceso de medición del perfil.

La variación en las medidas del perfil longitudinal puede minimizarse seleccionando un tramo de ensayo que tenga variaciones mínimas en el perfil transversal del pavimento y siguiendo tan estrechamente como sea posible el mismo camino o huella en las mediciones del perfil. Para garantizar que la repetición de las medidas del perfil del pavimento se hace en los mismos lugares especificados a lo largo del perfil, es necesario colocar marcas de localización automática del inicio del tramo de medición.

Los requerimientos de precisión para el equipo de medición, para la clasificación del equipo no excederán los valores promedio de la desviación estándar que se listan a continuación.

Clasificación del equipo	Precisión (1 SD)
1	0,38 mm (0,015 in)
2	0,76 mm (0,030 in)
3	2,50 mm (0,100 in)

La verificación de la precisión del equipo deberá realizarse inicialmente cada 6 meses, y según los resultados obtenidos este periodo podría ser mayor a los 6 meses.

8.2.2 Exactitud - La exactitud en las mediciones del perfil del pavimento está relacionada con la similitud existente entre el valor promedio de la repetición de varias mediciones del perfil del pavimento en ubicaciones específicas y un valor de referencia aceptado para esas ubicaciones.

La exactitud en las mediciones de un perfil individual en los datos puntuales es el valor promedio calculado para ese punto menos el valor de referencia aceptado.

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	IT-LC-03 (ASTM E 950) (AASHTO PP 50) (AASHTO PP 37)
	MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) MEDIANTE UN PERFILÓMETRO INERCIAL	Versión 02
		Páginas: 8/10

Un valor de referencia aceptado para cada punto a lo largo del perfil del pavimento medido será derivado de un método de referencia aceptado de medición del perfil del pavimento (por ejemplo, Nivel y mira Método de Ensayo ASTM E 1364, o bien el uso de equipos tipo pivote como el Dipstick, Método de Ensayo AASHTO R41-05).

Para asegurar una mayor confianza en el valor de referencia, es conveniente repetir varias mediciones del perfil de referencia y determinar un valor promedio válido y desviación estándar sobre el valor promedio, para las mediciones efectuadas.

La exactitud en la medición del perfil del pavimento es una combinación especificada de la exactitud de los valores observados en ubicaciones específicas a lo largo del perfil del pavimento medido, definida como la sumatoria de los valores absolutos de las variabilidades individuales en las múltiples ubicaciones a lo largo del perfil longitudinal medido dividido por el número de ubicaciones.

La longitud del perfil del pavimento medido que va a ser usado para la determinación de la exactitud será 320 m. El número de lugares especificados a lo largo del perfil del pavimento medido será 1057 a intervalos de 0,3 m.

Los requerimientos de exactitud para el equipo de medición, para la clasificación del equipo no excederán los valores de exactitud que se listan a continuación.

Clasificación del equipo	Exactitud
1	1,25 mm (0,050 in.)
2	2,50 mm (0,100 in.)
3	6,25 mm (0,250 in.)

La verificación de la exactitud del equipo deberá realizarse inicialmente cada año, y según los resultados obtenidos este periodo podría ser mayor a ese periodo.

8.3 Registro de datos y expresión de resultados

- Fecha y hora del día
- Operador, conductor e identificación del vehículo
- Condiciones del clima, principalmente temperatura, cubrimiento de nubes.
- Localización y descripción del tramo de ensayo
- Sentido de evaluación

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	IT-LC-03 (ASTM E 950) (AASHTO PP 50) (AASHTO PP 37)
	MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) MEDIANTE UN PERFILÓMETRO INERCIAL	Versión 02
		Páginas: 9/10

- Descripción del tipo de pavimento y condición
- Carril medido, posición transversal
- Intervalo de muestreo del perfil (250 mm, 1 000 mm)

8.4 Validación y estimación de la incertidumbre

No aplica

9. Referencias

9.1 Documentación interna

- 9.1.1 Registro de realización de pruebas con el Perfilómetro Inercial (RC-345)
- 9.1.2 Registro de Solicitud de ensayos (RC-281)
- 9.1.3 Cuaderno de Vida del RSP (RC-357)
- 9.1.4 Mantenimiento Operacional del Perfilómetro Inercial (RSP) (RC-358)

9.2 Documentación externa

- 9.2.1 American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO PP 50-07 (2005). Standard Practice for Operating inertial Profilers and Evaluating Pavement Profiles. AASHTO, Estados Unidos, 2007.
- 9.2.2 American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO PP 37-04. Determination of International Roughness Index (IRI) to Quantify Roughness of Pavements. AASHTO, Estados Unidos, 2005.
- 9.2.3 American Society for Testing and Materials, ASTM E950-98(2004). Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference. Estados Unidos, 2004.
- 9.2.4 American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO R 41-05. Standard Practice for Measuring Pavement Profile Using a Dipstick., AASHTO, Estados Unidos, 2005.

 <p>LanammeUCR</p>	<p>Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR</p>	<p>IT-LC-03 (ASTM E 950) (AASHTO PP 50) (AASHTO PP 37)</p>
	<p>MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) MEDIANTE UN PERFILÓMETRO INERCIAL</p>	<p>Versión 02</p>
		<p>Páginas: 10/10</p>

9.2.5 American Society for Testing and Materials, ASTM E1364-95 (2005). Measuring Road Roughness by Static Level Method. Estados Unidos, 2005.