



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE  
INFRAESTRUCTURA DEL  
TRANSPORTE

## Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

INFORME: LM-PI-UMP-A-007

# **CONSIDERACIONES TÉCNICAS EN RELACIÓN CON LA ESPECIFICACIÓN DE IRI PARA EL PROYECTO: AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO. 1, CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, SECCIÓN CAÑAS-LIBERIA (LPI NO. 2011LI-000004- Y FUTUROS PROYECTOS DE SIMILAR CONDICIÓN**

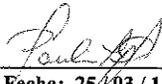
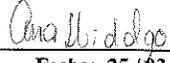
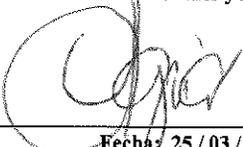
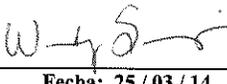
Preparado por:  
**Unidad de Materiales y Pavimentos**

San José, Costa Rica  
abril de 2014

Documento generado con base en el Art. 6, inciso g) de la Ley 8114 y lo señalado en el Cap. IV, Art. 66 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

Preparado por: Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-  
LanammeUCR paulina.leivapadilla@ucr.ac.cr



<b>1. Informe</b> LM-PI-UMP-A-007		<b>2. Copia No.</b> 10
<b>3. Título y subtítulo:</b> CONSIDERACIONES TÉCNICAS EN RELACIÓN CON LA ESPECIFICACIÓN DE IRI PARA EL PROYECTO: AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO. 1, CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, SECCIÓN CAÑAS-LIBERIA (LPI NO. 2011LI-000004-0DI00) Y FUTUROS PROYECTOS DE SIMILAR CONDICIÓN		<b>4. Fecha del Informe</b> marzo,2014
<b>7. Organización y dirección</b> 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		
<b>8. Notas complementarias</b> El informe responde a la solicitud realizada por el Consejo Nacional de Vialidad a través del Ing. Enrique Obed Sánchez, Gerente de Carreteras de la Unidad Ejecutora PIV-I, en concordancia con lo establecido en el Artículo 6, inciso g) de la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria (N°. 8114).		
<b>9. Resumen</b> <i>El presente documento surge en complemento a la respuesta emitida por el LanammeUCR en el oficio LM-PI-026-2014, relacionada con la petición realizada por el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), a través del Ing. Enrique Obed Sánchez Marín, presentada en el oficio UE-358-2014 recibida en esta dependencia el día 05 de marzo de 2014. El LanammeUCR, se encargó de realizar una revisión detallada de la bibliografía actual en el tema del índice de Regularidad Internacional (IRI), analizar la sección 501.14 del CR-2010 y el Cartel de Licitación del proyecto: Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas-Liberia (LPI No. 2011LI-000004-0DI00). El presente estudio constituye un insumo para la Administración, con el fin de colaborar en el desarrollo del proyecto, así mismo, una referencia que permita fortalecer los criterios técnicos de la Administración responsable de la calidad y mantenimiento de las obras viales. Corresponderá analizar, definir y aplicar los mecanismos que considere pertinente, para el buen desarrollo y término del proyecto en cuestión y de futuros proyectos de similar condición.</i>		
<b>10. Palabras clave</b> Especificación IRI, CR-2010, proyecto Cañas-Liberia	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 29
<b>13. Preparado por:</b> Ing. Paulina Leiva Padilla, Investigadora Unidad de Materiales y Pavimentos   Fecha: 25/03/14	Ing. Ana Elena Hidalgo Auditora Unidad de Auditoría Técnica   Fecha: 25/03/14	
<b>14. Revisado por:</b> Ing. José Pablo Aguiar, PhD. Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos   Fecha: 25/03/14	Ing. Wendy Sequeira, MSc. Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica   Fecha: 25/03/14	<b>15. Revisado y aprobado por:</b> Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD. Coordinador General PITRA   Fecha: 25/03/14

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
1.1.	FUNDAMENTACIÓN.....	5
1.2.	OBJETIVO GENERAL.....	6
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1.	ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL .....	7
2.1.1.	GENERALIDADES.....	7
2.1.2.	CONCEPTOS IMPORTANTES .....	9
2.1.3.	IMPORTANCIA DE LAS REGULACIONES AL IRI.....	11
<b>3</b>	<b>ESPECIFICACIÓN NACIONAL CON RESPECTO AL IRI (CR-2010).....</b>	<b>13</b>
5.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	17
5.2	ESPECIFICACIONES DEL CARTEL DE LICITACIÓN.....	20
<b>6</b>	<b>OBSERVACIONES .....</b>	<b>21</b>
6.1.	CON RESPECTO A LA NORMATIVA NACIONAL CR-2010 .....	21
6.2.	CON RESPECTO AL CARTEL DE LICITACIÓN DEL PROYECTO ANALIZADO .....	22
6.3.	RECOMENDACIONES POR PARTE DEL LANAMMEUCR.....	24
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESCALA ESTÁNDAR EMPLEADA POR EL BANCO MUNDIAL PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL IRI PARA DIFERENTES TIPOS DE VÍAS.....	7
FIGURA 2. RECOMENDACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE IRI EN FUNCIÓN DEL TPDA.....	8
FIGURA 3. UBICACIÓN DEL PROYECTO SOBRE LA RUTA NACIONAL N°1, SECCIÓN: CAÑAS-LIBERIA .....	18
FIGURA 4. CONSTRUCCIÓN DE LOSAS DE CONCRETO EN EL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA .....	19

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1 ESPECIFICACIONES INTERNACIONALES DE IRI.....	9
TABLA 2 VALORES IRI POR PERCENTIL PARA LOS PROMEDIOS .....	14
TABLA 3 PORCENTAJE DE M/KM DEL VALOR DEL IRI PARA PROYECTOS DE PAVIMENTO RÍGIDO .....	16
TABLA 4 IRI CARACTERÍSTICO DE LOS PROYECTOS EN ESTUDIO EN EL AÑO 2009 PARA UNA BASE DE MEDICIÓN CADA 100M.....	17
<i>TABLA 5 MULTAS POR DEFICIENCIAS EN LA RUGOSIDAD .....</i>	<i>20</i>
TABLA 6 MODIFICACIÓN PROPUESTA A LA TABLA DE MULTAS DEL CARTEL.....	25
TABLA 7 RESUMEN .....	27

## 1 INTRODUCCIÓN

Este informe se presenta en complemento a la respuesta emitida por el LanammeUCR en el oficio LM-PI-026-2014, relacionada con la petición realizada por el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), a través del Ing. Enrique Obed Sánchez Marín, presentada en el oficio UE-358-2014 y recibida en esta dependencia el día 05 de marzo de 2014.

Por medio del presente informe, el PITRA-LanammeUCR realizó un análisis complementario al planteado en el oficio LM-PI-026-2014, con respecto a la sección "Condiciones Especiales, Sección VI: Requisitos de las Obras" correspondiente al Índice de Regularidad Internacional (IRI) del Cartel de Licitación del proyecto: Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas-Liberia (LPI No. 2011LI-000004-0DI00).

A su vez, dentro del análisis realizado se consideró las especificaciones definidas en la sección 501.14 del CR-2010 correspondiente a: "Control de regularidad (IRI) en pavimentos de losas de hormigón hidráulico", así como aquella normativa de referencia a nivel internacional en proyectos de este tipo, con la finalidad de aclarar la forma en que deben ser interpretado y modificado el Cartel de Licitación al respecto.

Adicionalmente se analizó la experiencia nacional en cuanto a los valores del índice de regularidad internacional (IRI) en el desarrollo de proyecto viales cuya superficie de ruedo es de concreto hidráulico, con el objetivo de comparar estos valores con los solicitados en el Cartel de Licitación del proyecto en cuestión, y en la normativa nacional e internacional.

Se recomienda por tanto, que se tomen en cuenta las observaciones y recomendaciones que se describen en los siguientes apartados.

### 1.1. 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.

## 1.2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este informe, tal y como se mencionó anteriormente, es complementar la respuesta a la solicitud del Ingeniero Enrique Obed Sánchez Marín expresada en el oficio UE-358-2014, donde solicita:

*...interpretación en cuanto a la especificación para el cálculo del IRI, del proyecto en referencia, en vista de que la especificación contractual puede dar lugar a varias interpretaciones con respecto a dos puntos específicos:*

*1) ¿Cuál es el valor máximo de IRI que debe considerarse?*

*2) La definición de las singularidades y su aplicación en el cálculo de IRI.*

*Ambos elementos son trascendentales para la correcta aplicación de las especificaciones vigentes para el proyecto.*

*Lo anterior, dado que el contratista mediante oficio FCC-INT-039-2014 interpreta que para sectores con una longitud igual o menor a 800 metros el IRI máximo permitido es de 2.5 m/km. En esta misma nota el contratista solicita que se le reconozcan como singularidad las ventanas dejadas para el acceso a propiedades privadas y públicas, ventanas ocasionadas por servicios afectados no retirados en su momento, ventanas dejadas para construcción de alcantarillas por modificación al diseño, interrupciones en tramo por entrada y salida a carretera en tráfico, variación de espesores de la losa, interrupción de la pavimentación por lluvia...*

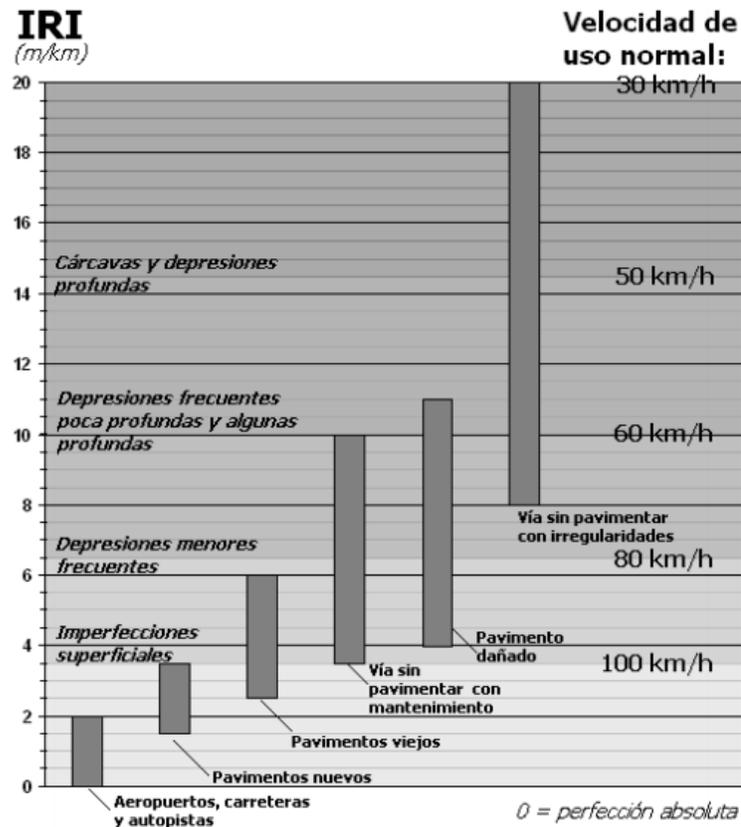
Por lo que se procura que este informe constituya un insumo para la Administración con el fin de colaborar en el desarrollo del proyecto en cuestión y de futuros proyectos, así mismo, una referencia que permita fortalecer los criterios técnicos de la Administración responsable de la calidad y mantenimiento de las obras viales.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1. Índice de Regularidad Internacional

#### 2.1.1. Generalidades

Las pautas generales a nivel internacional para la determinación del IRI fueron definidas en el documento titulado: “Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements [Guía para la Realización y Calibración de Mediciones de Regularidad en Carreteras]”, desarrollado por M. Sayers, T. Gillespie, y W. Paterson, para el Banco Mundial en 1982 en Brasil. Parte de los aportes de la investigación es la escala estándar para diferentes tipos de vías que se muestra en Figura 1.



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

Fuente: UMTRI Research Review, Vol. 33. Número 1. Enero-Febrero 2002, adaptado y citado por (Badilla, Elizondo y Barrantes 2008)

Otro de los resultados de la investigación se muestra a manera de resumen en la Figura 2, donde es posible ver la forma en que se puede correlacionar el valor de TPDA presente en el tramo analizado, con el valor límite de IRI según Sayers, Gillespie y Paterson (1982), adaptado por Orozco et al. (2004).

Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)	Índice Internacional de Rugosidad, IRI (m/km)						
	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 - 10	10 – 12	> 12
0 – 4 999	<i>Muy bueno</i>		<i>Bueno</i>				
5 000 – 9 999			<i>Regular</i>		<i>Malo</i>		
10 000 – 19 999						<i>Muy malo</i>	
> 20 000							

**Figura 2.** Recomendación para la selección de valores máximos admisibles de IRI en función del TPDA

Nota: Orozco y otros (2004)

Posteriormente en 1992, la forma de medición de este índice fue estandarizada por la Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés), bajo la norma ASTM E1170, titulada: “Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces [Prácticas estándar para la simulación de la respuesta vehicular según los perfiles longitudinales superficiales]”.

A partir de este preámbulo, diferentes países han considerado ciertos valores de IRI para la aceptación de proyectos y como parámetro que apoya el tipo de gestión que se debe llevar a cabo en la red carretera.

En la Tabla 1, se resumen las especificaciones más recientes en el tema, en países como España, Suecia, Chile, El Salvador, Eslovenia, Canadá, Paraguay, Portugal, Uruguay, Perú, Argentina y Estados Unidos -por medio de uno de los siete estados que utilizan este parámetro para verificación de la calidad-.

**Tabla 1** Especificaciones Internacionales de IRI

Lugar	Procedimiento general	Requerimientos de IRI según tipo de pavimento o superficie	
		Asfalto	Concreto
Chile <sup>1</sup>	IRI obtenido en 5 tramos consecutivos con intervalo de medición de 200 m	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
España <sup>2</sup>	IRI obtenido en tramos con intervalo de medición de 100 m	IRI ≤ 1.5 m/km, en el 50% de los datos IRI ≤ 2.0 m/km en el 80% de los datos IRI ≤ 2.5 m/km en el 100% de los datos	
Suecia <sup>3</sup>	IRI obtenido en intervalos de 20 m IRI obtenido en intervalos de 200 m	IRI ≤ 1.4 m/km IR ≤ 2.4 m/km	
El Salvador <sup>4</sup>	<b>Caminos rurales</b>		
	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI ≤ 3.0 m/km	--
	<b>Vías interurbanas</b>		
IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI ≤ 2.0 m/km	IRI ≤ 2.5 m/km	
Eslovenia <sup>5</sup>	<b>Carreteras de alto tránsito</b>		
	IRI obtenido en tramos de 20 m	2.0 ≤ IRI ≤ 2.6 m/km	--
	IRI obtenido en tramos de 100 m	1.2 ≤ IRI ≤ 1.8 m/km	--
	<b>Carreteras de bajo tránsito</b>		
IRI obtenido en tramos de 20 m	4.0 ≤ IRI ≤ 4.6 m/km	--	
IRI obtenido en tramos de 100 m	3.0 ≤ IRI ≤ 3.8 m/km	--	
Canadá <sup>3</sup>	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	--
Paraguay <sup>6</sup>	No indica intervalo de medición	IRI ≤ 2.0 m/km	IRI ≤ 3.0 m/km
Portugal <sup>5</sup>	No indica 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
Uruguay <sup>7</sup>	No indica intervalo de medición	Muy bueno: IRI < 3.2 m/km Bueno: 3.2 ≤ IRI ≤ 3.9 Regular: 4.0 ≤ IRI ≤ 4.6 Malo: IRI > 4.6	Muy bueno: IRI < 2.8 m/km Bueno: 2.8 ≤ IRI ≤ 3.5 Regular: 3.6 ≤ IRI ≤ 4.3 Malo: IRI > 4.3
Perú <sup>8</sup>	No indica intervalo de medición	IRI < 2.0 m/km	IRI < 3.0 m/km
Argentina <sup>9</sup>	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI < 1.8 m/km	IRI < 3.6 m/km
Kentucky, Estados Unidos <sup>10</sup>	IRI obtenido en tramos de 160 m	Proyectos Clase A: IRI ≤ 1.1 m/km Proyectos Clase B: IRI ≤ 1.2 m/km	Proyectos Clase A: IRI ≤ 1.1 m/km Proyectos Clase B: IRI ≤ 1.3 m/km

### 2.1.2. Conceptos importantes

Con la finalidad de esclarecer conceptos que son de importancia en la interpretación de las especificaciones relacionadas con el IRI, a continuación se presentan las definiciones que en la bibliografía recopilada se definen en el uso de este índice como parámetro de control de calidad en proyectos carreteros.

<sup>1</sup> (Etcheberry, Millan y Galilea 2003)

<sup>2</sup> Ministerio de Fomento, Orden Circular 308/89CyE, referente a la "Recepción definitiva de Obras" y la nota complementaria OC 308/89, referenciado por: (Solminihac, Cabrera y Bengo 2002)

<sup>3</sup> (Canadian Strategic Research Program (C-SHRP) 1999)

<sup>4</sup> (Ventura y Alvarenga 2005)

<sup>5</sup> (Badilla, Elizondo y Barrantes 2008)

<sup>6</sup> (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación 2011)

<sup>7</sup> (Arriaga, Garnica y Rico 1998)

<sup>8</sup> (Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2000)

<sup>9</sup> (Pagola y Giovanon 2011)

<sup>10</sup> (Kentucky Transportation Cabinet 2012)

#### 2.1.2.1. Tramos o sectores homogéneos

Según Álvarez (2012) los tramos homogéneos se definen como segmentos de la vía que presentan características similares, de acuerdo a un parámetro establecido; por ejemplo: características físicas como la geometría (número de carriles); estructura (espesores, módulos); resultados de evaluación en parámetros como auscultación visual, deflexiones, utilizados en la gestión de pavimentos.

Similar a esta definición, Bonilla y Dubón (2008), definen los sectores homogéneos en una carretera, como aquellos correspondientes a una estructuración uniforme, con exclusión de puentes, líneas férreas, cruces de calle y otros.

#### 2.1.2.2. Singularidades

Según el Laboratorio Nacional de Vías de Chile bajo la norma LNV 107-2000 se define singularidad como:

*Cualquier alteración del perfil 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 de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino.*

Por otro lado, el Instituto Nacional de Vías en el Manual de Especificaciones Técnicas, artículo 460-7, que se refiere a fresado de pavimento asfáltico, define singularidades como:

*... todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias en el procedimiento de fresado, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, etc., los cuales serán definidos por el Interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la medida del perfil longitudinal. ...*

Con base en las definiciones anteriores, no se deben considerar como singularidades, defectos en la superficie del pavimento producto de procesos o procedimientos constructivos, ya sea asociados a la planificación y desarrollo del proyecto como a técnicas constructivas. Tampoco se deberán considerar como singularidades, las interrupciones producidas por condiciones climáticas o del ambiente, ya que estas no están asociadas al perfil de la carretera.

#### 2.1.2.3. Base de medición o valores individuales

Acorde con el informe de asesoría LM-PI-002-2013, cuando se habla del valor del IRI en una vía, es necesario indicar la longitud en que se determina dicho valor, ya que el IRI reportado es el valor medio de los valores de IRI unitarios o puntuales que se obtienen.

La base de medición -también llamada en algunas especificaciones nacionales (CR-2010) e internacionales como: "valores individuales"- corresponde al tramo que define la longitud de medición, generalmente de 100 o 200 metros, esto de acuerdo al objetivo que se requiera (nivel de red o nivel de proyecto).

Debido a la importancia que implica la longitud de esta base de medición para la determinación del IRI, es necesario establecer la longitud del intervalo dentro de las especificaciones de manera adecuada. Intervalos de gran longitud pueden ocultar valores de regularidad superficial alta, mientras que aquellos de pequeña longitud pueden detectar niveles altos de regularidad, contribuyendo a obtener pavimentos con mejores niveles de seguridad y confort.

#### 2.1.2.4. Tramos consecutivos

Se consideran tramos consecutivos al número de valores individuales que la especificación o normativa indique se deban promediar para cumplir con la especificación. A nivel de la normativa internacional se utilizan valores de tramos consecutivos de 1.00 km, que corresponden al promedio de diez valores individuales de 100m.

#### 2.1.3. *Importancia de las regulaciones al IRI*

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.

Es posible encontrar investigaciones en las cuales se ha evaluado la influencia de valores de IRI en la aceptación de obra nueva, con el comportamiento del pavimento a largo plazo. Estas investigaciones demuestran que valores iniciales de IRI elevados 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 indeseables 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.

Acorde con Zaabar, I. and Chatti, K. (2013), en la investigación titulada: *Estimating Vehicle Operating Costs Due To Pavement Surface Conditions [Estimación de los costos de operación de los vehículos debido a las condiciones superficiales del pavimento]*, se concluye que:

- El consumo del combustible es el costo más importante que se asocia con la regularidad, seguido está el de mantenimiento y reparación del vehículo y, en tercer lugar, el desgaste de las llantas.
- El incremento del IRI en 1.00 m/km aumenta el consumo de combustible en vehículos livianos entre un 2 y 3%, independientemente de la velocidad.
- Un aumento en los valores de IRI en 1.00 m/km genera un mayor consumo de combustible en camiones entre 1-2% a altas velocidades y entre 2-3% a bajas velocidades.
- El mantenimiento y reparación de vehículos es afectado por causa de la regularidad hasta que un valor de IRI=3.00 m/km es alcanzado.
- Sobrepasando el valor de IRI anterior -3.00 m/km- y, para valores de IRI de 4.00 m/km, los costos por mantenimiento y reparación de los vehículos aumentan en un 10%, tanto para vehículos livianos como para camiones.
- Por encima de este valor -4.00 m/km- y, cuando los valores de IRI alcanzan los 5.00 m/km, el costo por mantenimiento y reparación aumenta en; un 40% para vehículos livianos y; un 50% para camiones.

### 3 ESPECIFICACIÓN NACIONAL CON RESPECTO AL IRI (CR-2010)

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 la 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

Específicamente en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica (CR-2010), en la sección 501.14 que se refiere a: *Control de regularidad (IRI) en pavimentos de losas de hormigón hidráulico*, establece lo siguiente con respecto al IRI en pavimentos nuevos de concreto:

- i. El cálculo del IRI lo hará el Contratista como parte de su control de calidad, con equipos clasificados como clase 1 según criterio del Banco Mundial.
- ii. Podrán utilizarse los datos de autocontrol para la preevaluación una vez que los datos por parte de la verificación concuerden estadísticamente con estos.

- iii. La preevaluación se hará con las medias fijas de los valores de diez tramos consecutivos de 100 metros.
- iv. De no ser posible contar con diez valores consecutivos, se considerará como representativo del tramo, el valor medio de ellos, que se deberá comparar con el valor límite exigido para los promedios, debiendo cumplir cada valor con las exigencias para los valores individuales.
- v. Cuando se disponga de un solo valor, se exigirá solamente que este cumpla con el valor límite individual de la especificación.
- vi. Se considerará una regularidad de la superficie aceptable cuanto los promedios consecutivos de diez valores de IRI son inferiores a los establecidos en la siguiente tabla, definida por percentiles del total de datos.

**Tabla 2** Valores IRI por percentil para los promedios

Porcentaje de m/km	Rodadura e intermedia	
	Tipo de vía	
	Autopistas y Vías concesionadas	Resto de vías
50	< 1.5	< 1.5
80	< 1.8	< 2.0
100	< 2.0	< 2.5

- vii. Ninguno de los diez valores individuales del tramo deberá ser superior a 3.0m/km.
- viii. Irregularidades que excedan las tolerancias de la Tabla 2, y zonas de retención de agua, deberán corregirse según las indicaciones del Ingeniero del Proyecto.
- ix. En autopistas y vías concesionadas el IRI medio será máximo 1.69 y el resto de las vías 1.85 m/km, con una desviación estándar de 0.39 m/km -asumiendo una distribución normal de los datos-.
- x. En caso de incumplir la exigencia en valores individuales, el ingeniero del proyecto ordenará al Contratista hacer las reparaciones necesarias para llegar a un valor de IRI menor al límite máximo establecido para un valor individual -3.0 m/km-. (De no repararse, afectarán el cálculo del IRI del tramo, ya que deberán tomarse en consideración).
- xi. De haber deficiencias en la medias fijas, el Contratista podrá solicitar al Ingeniero del proyecto, la autorización para corregirlas, quien estará facultado para autorizar o rechazar estas reparaciones en tramos de 100 metros. Finalizadas las reparaciones, autocontrol y verificación deberán realizar una nueva medición de los sectores reparados.
- xii. No se exigirá cumplir con el control del IRI en bermas ni singularidades –alteraciones del perfil longitudinal que no provengan de fallas constructivos y que incrementen el valor del IRI

- en el tramo en que se encuentren-. Se consideran como singularidades: cuellos de empalme, accesos, puentes, badenes, cámaras u otras, autorizadas por el Ingeniero del proyecto.
- xiii. Las singularidades que se pudieran presentar afectarán el tramo completo de 100 metros en la pista en que se encuentran ubicadas, y no deberá considerarse tal tramo en la evaluación. Los tramos de 100 metros que no se consideren en la evaluación por efecto de singularidades, no dividirán el sector homogéneo en que se encuentran

#### **4 EXPERIENCIA NACIONAL EN CUANTO A LA REGULARIDAD EN PROYECTO DE OBRA VIAL**

Es importante mencionar la experiencia que en el LanammeUCR se ha desarrollado con respecto al Índice de Regularidad Internacional desde hace ya varios años.

Se puede mencionar en este sentido, el trabajo de investigación desarrollado mediante el informe: UI-03-08 "Determinación de un Procedimiento de Ensayo para el Cálculo del IRI", desarrollado por la Unidad de Materiales y Pavimentos -antigua Unidad de Investigación- en el mes de noviembre del 2008 y, donde se describen elementos de importancia a considerar en el abordaje de este tema.

Por otro lado desde el 2004, y como una de las tareas que por ley se le asignan al LanammeUCR, la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional ha incluido en sus evaluaciones bianuales la valoración de este parámetro.

A estos esfuerzos se les puede sumar el trabajo realizado por la Unidad de Evaluación de la Red Vial Municipal, en el 2012, quien bajo el estudio: *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"*; determinó los rangos de IRI para la evaluación y gestión de las rutas municipales –este estudio se encuentra actualmente en un proceso de uso y calibración-.

Finalmente en la Unidad de Auditoría Técnica, desde el segundo semestre del año 2009 ha elaborado informes a nivel de proyecto, a cargo de la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes del CONAVI, donde se evaluó el cumplimiento del Índice de Regularidad Internacional (IRI) según las especificaciones nacionales -CR-2002 ó actualmente el CR-2010-, teniendo presente que a nivel contractual, este no era un requerimiento para los proyectos evaluados. Lo anterior se ha hecho con el objetivo de evidenciar el nivel de regularidad alcanzado por los contratistas mediante la aplicación de sus propios procesos constructivos en obras viales y el nivel de regularidad que a su vez, la Administración ha aceptado en los proyectos de mejoramiento y reconstrucción recibidos, al no incluir dentro de las especificaciones cartelarias este índice. Adicionalmente como parte de la transferencia de

tecnología que ha asumido el LanammeUCR, el objetivo ha sido mostrar las ventajas que ofrece la consideración de 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 han 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.
- 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-Barú.

Para el caso específico de pavimentos rígidos -objetivo principal de este informe-, se cuenta con información de los proyectos: Zapote- San Francisco, San Francisco-La Colina y la sección de Librería Universal-La Salle.

En la Tabla 3, se presenta la distribución de los datos del IRI para cada uno de los proyectos en mención, así como, los valores promedios para años anteriores.

**Tabla 3** Porcentaje de m/km del valor del IRI para proyectos de pavimento rígido

Porcentaje de m/Km	CR-2010	Proyectos de obra vial analizados		
	(Resto de Vías) m/Km	Zapote-San Francisco	San Francisco-La Colina	Universal-La Salle
50	1.5	4.6	4.4	3.1
80	2.0	4.7	4.5	3.5
100	2.5	4.8	4.7	4.0

Nota: Base de medición es de 100m, año de medición: 2009, tomado del Informe LM-PI-AT-042-12

**Tabla 4** IRI característico de los proyectos en estudio en el año 2009 para una base de medición cada 100m

Proyecto	MRI @100m	Desviación estándar
Mejoramiento de la Ruta Nacional N° 204, sección: Zapote-San Francisco	4.7	0.4
Mejoramiento de la Ruta Nacional N° 211, sección: San Francisco-La Colina	4.4	0.85
Mejoramiento de la Ruta Nacional N°167, sección Universal-La Salle	3.3	0.4

Nota: Tomado del Informe LM-PI-AT-042-12

Como se puede observar en las tablas anteriores, los valores de IRI en los proyectos costarricenses han sido mayores a los establecidos en las especificaciones internacionales y superando casi en el doble los valores especificados en el CR-2010. Por tanto la Tabla 4 constituye un insumo para la mejora de especificaciones posteriores, en procura de una adecuación pertinente a las condiciones nacionales y realizado dentro de un proceso sistemático.

## 5 PROYECTO CAÑAS – LIBERIA

### 5.1 Descripción Del Proyecto

El proyecto fue adjudicado el 08 de noviembre del 2011 a la Constructora Consorcio FCC – Interamericana Norte y de acuerdo con el Cartel de Licitación, el alcance del proyecto es la realización de las actividades constructivas para la ampliación a 4 carriles, (2 en cada sentido de circulación) y la rehabilitación de la carretera existente, de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas – Liberia, con una longitud de 50,610 kilómetros (cincuenta kilómetros seiscientos diez metros), iniciando en el kilómetro 166+300 (aproximadamente 600 metros antes del Río Cañas) y finaliza en el kilómetro 216+910 (aproximadamente 600 metros después de la Quebrada Piches). El proyecto cuenta con una longitud de 50,610 kilómetros y 9 puentes peatonales (Figura 3).



**Figura 3.** Ubicación del proyecto sobre la Ruta Nacional N°1, sección: Cañas-Liberia

A manera de antecedente, es importante mencionar que la Administración planteó la posibilidad de que el oferente cotizara para 2 (dos) alternativas de pavimento: Semirígido (superficie de ruedo con carpeta de concreto asfáltico) o Rígido (superficie de ruedo con losas de hormigón de concreto hidráulico); por tanto, cada oferente podía presentar de acuerdo con sus intereses particulares oferta para una o para ambas alternativas de pavimento.

La estructura contratada fue la de pavimento rígido con una base estabilizada con cemento BE-35 y el diseño que se colocará en el proyecto es el siguiente:

Estructura de pavimento para la vía existente: Recuperar un espesor promedio de 20 cm de la estructura de pavimento existente, incorporarle cemento, homogenizar y compactar para obtener una base mejorada BE-35.

Sobre esta superficie de base mejorada con la resistencia mínima para una BE-35, construir una losa de concreto hidráulico de 25 cm de espesor.

Estructura de pavimento para la ampliación: Realizar las excavaciones, limpiezas y obras necesarias.

Sobre la subrasante conformada y compactada, colocar un espesor de 20 cm de material de préstamo seleccionado para acabado caso 2, con un CBR mayor o igual a 10, compactados al 95% de la densidad máxima establecida en la prueba AASHTO T-99 para materiales no granulares, en caso de que el material sea granular, se deberá compactar al menos hasta obtener el 95% de la densidad máxima establecida en la prueba AASHTO T-180.

Sobre el material de préstamo compactado se colocará un espesor de 20 cm de subbase graduación B, compactados al 95% de la densidad máxima establecida en la prueba AASHTO T-180.

Sobre la subbase compactada se construirá una capa de 20 cm de base estabilizada BE-35, de acuerdo con las características definidas en las especificaciones especiales del contrato.

Sobre esta superficie de base estabilizada construir una losa de concreto de 25 cm de espesor.

Los trabajos deberán ejecutarse con el adecuado control y manejo de tráfico para garantizar la fluida circulación vehicular en al menos dos carriles durante la totalidad de la ejecución de las obras.

Durante la etapa de construcción del proyecto podrá haber otros contratistas, en la construcción de Puentes y Pasos a Desnivel. Dado lo anterior 100 metros antes y después de cada puente, no se efectuarán actividades constructivas correspondientes a la estructura del pavimento.

Igualmente en los pasos a desnivel (Cañas-Bagaces-Liberia), no habrá intervención entre las siguientes estaciones:

- Para el paso a desnivel de Cañas desde la estación 167+00 hasta la estación 168+200.
- Para el paso a desnivel de Bagaces desde la estación 188+980 hasta la estación 189+900.
- Para el paso a desnivel de Liberia desde la estación 214+600 hasta la estación 215+800.

El monto original del contrato es de  $\$48.251.641.725,43$  (colones), y el plazo de ejecución inicial es de 730 días naturales contados a partir de la orden de inicio, que según la Orden de Servicio N° 1, se dio el 14 de mayo del 2012. La Figura 4 muestra una parte de la losa en construcción del proyecto.



**Figura 4.** Construcción de losas de concreto en el proyecto Cañas-Liberia

## 5.2 Especificaciones del Cartel de Licitación

Para desarrollar esta sección del informe se analiza la sección VI. Requisitos de las obras "Control de Regularidad" del Cartel de Licitación del proyecto en mención, donde se definen las especificaciones para la medición del perfil longitudinal y cálculo del IRI, estableciéndose que:

*...Se medirá en forma continua en tramos de 200 metros, o fracción en caso de que el último tramo de un sector homogéneo no alcance a los 200 m. Se informará el IRI (m/Km.) con un decimal. La rugosidad se medirá longitudinalmente por pista mediante un sistema perfilométrico de precisión; se medirá la elevación del perfil al milímetro y con una frecuencia igual o superior a cuatro puntos por metro, es decir, cada 250 mm, como máximo, y ejecutando el programa del IRI. Alternativamente, este control se podrá efectuar con rugosímetros del tipo respuesta, debidamente calibrados con algún sistema perfilométrico que cumpla las mismas características mencionadas anteriormente, o bien, mediante nivel y mira con la precisión y frecuencia señaladas.*

*La evaluación del IRI se realizará por tractos de cinco tramos consecutivos. Se entenderá que la superficie del pavimento tiene una rugosidad aceptable si todos los promedios consecutivos de cinco valores de IRI tienen un valor igual o inferior a 1,5 m/km, y ninguno de los valores individuales supera 2,0 m/Km. En caso de incumplimiento de esta última condición, el Contratista deberá efectuar las reparaciones necesarias para llegar a un valor de IRI bajo el límite máximo establecido. En caso contrario, se aplicará una multa del 40% del costo del Pavimento de hormigón asfáltico en caliente con tamaño máximo nominal de 19mm, de 15 cm de espesor (sic). (Lo subrayado no es del texto original).*

*En caso de incumplimiento de la condición del promedio de cinco muestras consecutivas (200 m cada una), se aplicará la siguiente tabla de multas sobre el valor de la superficie de rodamiento:*

**Tabla 5 Multas por deficiencias en la rugosidad**

<i>IRI (m/km) ASTM E-70</i>	<b>MULTAS CON RESPECTO AL VALOR DE LA CAPA DE CARPETA ASFÁLTICA EN EL ÁREA AFECTADA</b>
<i>1,5 &gt; IRI</i>	0%
<i>1,5 ≤ IRI &lt; 1,75</i>	5%
<i>1,75 ≤ IRI &lt; 2,0</i>	10%
<i>2,0 ≤ IRI &lt; 2,5</i>	20%
<i>2,5 ≤ IRI</i>	40%

*Si el sector homogéneo tiene una longitud inferior o igual a 800 m, sólo regirá la condición de que ninguno de los valores individuales medidos supere el IRI máximo permitido. En caso de incumplimiento, el Contratista deberá efectuar las reparaciones necesarias para llegar a un valor de IRI bajo el límite máximo establecido. En caso contrario, se aplicará una multa del 40% del costo del Pavimento de hormigón asfáltico en caliente con tamaño máximo nominal de 19mm, de 15 cm de espesor (sic)*

*En caso de que el IRI supere el valor de 4.0m/Km., para un tramo particular, dicho tramo deberá ser demolido y reconstruido sin costo adicional para la Administración. El contratista deberá suministrar los informes de índice de rugosidad (IRI) para la totalidad de los tramos del proyecto. El informe será suministrado como requisito para el trámite de estimaciones de pago que involucren el costo Pavimento de hormigón asfáltico en caliente con tamaño máximo nominal de 19mm, de 15 cm de espesor (sic)...*

(Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) 2011)

## 6 OBSERVACIONES

Del contraste de las especificaciones del cartel, el CR-2010 y la revisión bibliográfica con respecto a la realidad en proyectos internacionales, se puede determinar lo siguiente:

### 6.1. Con respecto a la normativa nacional CR-2010

- La bibliografía recopilada, con respecto a las especificaciones de aceptación del IRI en proyectos nuevos a nivel internacional, muestra que los valores de las especificaciones del CR-2010, se encuentran dentro de umbrales aceptables para la realidad nacional, no solamente en los valores máximos definidos para rangos de valores individuales y medias móviles, sino también, en la base de medición -tramos de 100 m- y, en el uso de un requerimiento de la distribución estadística de los datos por medio de diferentes percentiles.
- Otro aspecto importante de señalar es que tanto en la bibliografía recopilada, como en la normativa nacional (CR-2010), el índice de regularidad internacional es utilizado principalmente como un factor de aceptación o rechazo y no como un factor de pago.
- Actualmente la Comisión de Revisión Permanente del CR-2010 se encuentra en un proceso de revisión de la especificación de regularidad superficial para pavimentos flexibles y rígidos.

## 6.2. Con respecto al cartel de licitación del proyecto analizado

Es importante aclarar que en este apartado se incluye un análisis complementario al planteado en el oficio LM-PI-026-2014.

En primera instancia, se pudo observar a lo largo del análisis realizado en la especificación del Cartel de Licitación para el IRI, que se presentan algunas ambigüedades en la descripción de la especificación, por lo que es importante que la Administración preste especial atención al proceso de elaboración de carteles de licitación, ya que podrían afectar de manera directa la aplicación de un parámetro de condición funcional como lo es el IRI y por ende incidir en el calidad del proyecto.

De acuerdo con el Cartel de Licitación: LPI No. 2011LI-000004-0DI00 "La Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No.1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas-Liberia" - sección VI: Requisitos de las obras, página 116, Control de rugosidad (IRI)-; la interpretación que realiza el PITRA-LanammeUCR con el objetivo de aclarar posibles inconsistencias o situaciones que puedan generar confusión y de acuerdo con la lectura es la siguiente:

### Tramos de más de 1000 m

Se siguen los dos requisitos establecidos en el cartel de licitación para valores promedios -1.5 m/km- y para valores individuales -2.0 m/km-.

### Tramos de 800m a 1000m

Se medirá en forma continua en tramos de 200 metros, o fracción en caso de que el último tramo de un sector homogéneo no alcance a los 200 m.

Si el tramo evaluado tiene una longitud mayor de 800 metros pero menor a 1000m el último tramo de la sección se toma como una fracción, y se considera representativo del tramo el valor medio de ellos, (último tramo) el cual se comparará con el valor límite exigido tanto para los promedios -1.5 m/km- como para los valores individuales -2.0 m/km-.

### Tramos menos de 800m

Tal y como menciona la especificación del Cartel de Licitación si el tramo es menor a 800m, solamente se considera la condición de valores individuales, la cual indica que ninguno de los valores individuales (base de medición 200m) debe superar **2,0 m/Km**. Si esto no se cumple el Contratista

deberá realizar las reparaciones correspondientes para que este llegue al valor límite máximo requerido **-2,0 m/Km -**, en caso contrario se aplicará la multa correspondiente.

Cabe recalcar que en esta redacción se le da la oportunidad al Contratista de realizar las reparaciones necesarias al tramo medido para su respectiva aceptación y pago, de no ser así la Administración tiene el poder de aplicar la multa respectiva (ya sea el 40% del valor del pavimento o el rechazo si este tiene valores mayores a 4.0m/km), esto fundamentado en los datos de verificación de la calidad.

En el CR-2010 sección 501.14 " Control de regularidad (IRI) en pavimentos de losas de hormigón hidráulico" se maneja el mismo concepto que en el Cartel de Licitación del proyecto en mención en cuanto al tratamiento de valores individuales. En esta sección se menciona que: *"... Si no es posible disponer de diez valores consecutivos para la evaluación de las medias fijas y se cuente sólo con menos valores, se considerará como representativo del tramo el valor medio de ellos, el cual se comparará con el valor límite exigido para los promedios, debiendo también cumplir cada uno de los valores con las exigencias para valores individuales. En el caso que se disponga de un solo valor, éste no tendrá más exigencia que el valor límite individual considerado en la especificación..."*

Por otra parte, en el cartel de licitación del proyecto en cuestión (LPI No. 2011LI-000004-0DI00), se menciona que: *"... El control de IRI (índice de rugosidad internacional) se realizará por sectores homogéneos, correspondientes a un mismo tipo de superficie de ruedo. No se considerarán puentes, vados otras singularidades determinadas por la Ingeniería de Proyecto, que afecten la medición..."*

A partir de lo anterior, se considera sector o tramo homogéneo como la sección de un pavimento de estructura 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). Con base en la lectura de la especificación del cartel donde describe el procedimiento para medir tramos menores a 800m, es posible medir cualquier sección de proyecto que la Ingeniería de Proyecto considere y aplicando las singularidades aprobadas por ésta. Es criterio del LanammeUCR que el hecho de que en un proyecto existan singularidades, dichas singularidades no segmentan al mismo, ya que existe un procedimiento para eliminar el efecto de éstas en la medición del IRI.

Como se mencionó, una singularidad corresponde a 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, incrementando el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. En caso de que exista una singularidad, se recomienda 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 la suma de su longitud más su área de influencia de 40 m hacia delante en el sentido de la medición. Por lo que la medición de un tramo que contenga una singularidad se puede hacer sin problemas, solamente se recomienda que se sigan los pasos descritos anteriormente.

Es importante realizar la medición del perfil longitudinal y cálculo del IRI en secciones, esto le permite a la Administración conocer el estado del proyecto y al contratista realizar las reparaciones necesarias para garantizar el cumplimiento de la especificación y entrar en un proceso de aprendizaje y mejora continua sobre el procedimiento y acciones necesarias para cumplir con lo requerido.

Si bien es cierto y tal como se mencionó anteriormente, la continuidad del proceso constructivo influye directamente sobre la calidad de la superficie de ruedo y, esta continuidad se ve reflejada en el cálculo del perfil longitudinal (IRI), se debe prestar especial atención en no confundir los defectos que resulten de los problemas constructivos o de planificación con las singularidades.

En el CR-2010 se menciona que además de realizar la medición y cálculo de IRI por secciones del proyecto dando la oportunidad al Contratista de reparar secciones con incumplimientos, se debe de realizar una medición una vez finalizado el proyecto en su totalidad, de esta forma el IRI obtenido podrá reflejar defectos constructivos provocados por problemas durante el proceso constructivo que no se puede observar cuando la medición del IRI se realiza por secciones. Textualmente indica:

*"... En el momento 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..."*

### 6.3. Recomendaciones por parte del LanammeUCR

Partiendo de lo expuesto en la sección anterior, que corresponde meramente a la interpretación del texto del cartel, se hace importante para el PITRA-LanammeUCR, mencionar una serie de recomendaciones que, desde la perspectiva técnica, es necesario realizar a las especificaciones definidas en el cartel:

- i. Contraponiendo lo estipulado en el cartel de licitación (con respecto a que los valores promedio de los cinco tramos consecutivos de 200 m sea menor a 1.5 m/km), con lo establecido en el CR-2010 (para las medias fijas de 10 valores consecutivos en tramos de 100 m, según los percentiles definidos en la Tabla 2 y, que definen un valor promedio de 1.85 m/km), se determina que: por un lado, la especificación del cartel es más estricta en términos del valor establecido; mientras que por el otro, el CR-2010 es más estricto en términos de la longitud del tramo. Tomando en cuenta ambas consideraciones, sigue siendo la especificación

- del cartel un poco más rigurosa, por lo que es necesario valorar para éste y futuros proyectos que la especificación de IRI se adapte a la realidad nacional en materia de la técnica en construcción de pavimentos de concreto.
- ii. En complemento a lo anterior y tomando en cuenta las especificaciones internacionales y la reciente experiencia en Costa Rica en proyectos de este tipo, para el proyecto en cuestión se recomienda considerar para valores promedio consecutivos de cinco valores un valor de  $IRI \leq 2.0$  m/km para las medias móviles, en lugar del 1.5 m/km definido en el cartel para los promedios fijos, conservando la longitud de 200 m del tramo de medición, que se considera es aceptable, si se compara con las especificaciones de Chile (Tabla 1), que pueden asociarse como una buena referencia. Debe quedar claro que el IRI máximo permitido para valores promedio consecutivos de cinco valores de IRI recomendado es:  $IRI < 2.0$  m/km.
  - iii. Con respecto a los valores individuales de los datos considerados en las medias móviles del inciso anterior (ii), se recomienda que estos cumplan con valores de  $IRI < 2.5$  m/km. Debe quedar claro que el IRI máximo permitido para valores individuales recomendado es:  $IRI < 2.5$  m/km.
  - iv. Bajo la modificación anterior se hace necesaria la redefinición de la tabla de multas del cartel de licitación como se propone en la Tabla 6, estableciendo multas de 40% del costo del pavimento de concreto hidráulico de 25 cm de espesor -según lo que se establece en el reglón de pago correspondiente- para valores de IRI entre 3.5 y 4.0 m/km, 20% entre 3.0 y 3.5 m/km, 10% entre 2.5 y 3.0 m/km, 5% entre 2.0 y 2.5 m/km, sin multa cuando son menores a 2.0 m/km y su reparación al ser superiores a 4.0 m/km.

**Tabla 6 Modificación propuesta a la tabla de multas del cartel**

IRI (m/km)	Multas
$2.0 > IRI$	0%
$2.0 \leq IRI < 2.5$	5%
$2.5 \leq IRI < 3.0$	10%
$3.0 \leq IRI < 3.5$	20%
$3.5 \leq IRI < 4.0$	40%
$4.0 \leq IRI$	Se repara

- v. Finalmente, para una interpretación adecuada de la especificación, es necesario definir los siguientes conceptos:
  - a. Sectores homogéneos: sectores en la red o ruta específica con el mismo tipo de superficie de ruedo.

- b. Singularidades: alteraciones al perfil longitudinal, para este proyecto se toman en cuenta además de: cruces de calles, puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas y las ventanas para el acceso a propiedades privadas y caminos públicos, debido a que se han contabilizado 500 entradas, lo que es poco usual en proyectos de este tipo, adicionalmente es importante mencionar que debido al material que es utilizado en este proyecto para construir la superficie de ruedo (concreto), el proceso constructivo necesario para completar las ventanas mencionadas anteriormente influye directamente en el perfil del proyecto y por lo tanto en este caso específico se consideran como singularidades. Por otro lado no se deben considerar como singularidades, las interrupciones producidas por condiciones climáticas o del ambiente, ya que estas no están asociadas al perfil de la carretera. El área de influencia a considerar en cada singularidad corresponderá a los 40 metros posteriores.
- vi. De forma similar a lo establecido en el CR-2010, las singularidades que se pudieran presentar afectarán el tramo completo, en este caso de 200 metros en la pista en que se encuentran ubicadas, y no deberá considerarse tal tramo en la evaluación. Tramos de 200 metros que no se consideren por estas singularidades, no deberán dividir el sector homogéneo en que se encuentran.

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ante el análisis desarrollado en el presente informe, se concluye que la especificación del IRI del proyecto Cañas Liberia es ambigua en su redacción y, comparativamente con los estándares internacionales es más rigurosa, máxime si se contemplan en específico las condiciones del proyecto - alrededor de 500 entradas, que no es común en proyectos de este tipo- y la experiencia nacional en la construcción de pavimentos de concreto en la que el IRI característico alcanzado está en el rango de 3.3 a 4.7 m/km. En virtud de lo anterior, se recomienda para éste y futuros proyectos, valorar técnicamente la idoneidad de la especificación establecida en el Cartel de Licitación LPI No. 2011LI-000004-0DI00.

Finalmente, la Tabla 7 a continuación muestra a manera de resumen, los parámetros establecidos en el Cartel de Licitación, el CR-2010 y la propuesta que se describe en el presente documento.

Informe LM-PI-UMP-A-007	Fecha de emisión: 01 de abril de 2014	Página 26 de 29
-------------------------	---------------------------------------	-----------------

**Tabla 7 Resumen comparación de especificaciones de IRI**

	Cartel de Licitación	CR-2010	Consideraciones técnicas para el proyecto en cuestión, en relación con la especificación del IRI																										
<b>Valor individual IRI</b>	2.0 m/km	3.0 m/km	2.5 m/km																										
<b>Media móvil IRI</b>	-	Percentiles 50: IRI < 1.5 m/km 80: IRI < 1.8 m/km 100: IRI < 2.0 m/km																											
<b>Promedio IRI</b>	1.5 m/km	1.85 m/km	2.0 m/km																										
<b>Longitud tramo</b>	200 m	100 m	200 m																										
<b>Tabla de pago</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>IRI (m/km)</th> <th>Multas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.5 &gt; IRI</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>1.5 ≤ IRI &lt; 1.75</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>1.75 ≤ IRI &lt; 2.0</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>2.0 ≤ IRI &lt; 2.5</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>2.5 ≤ IRI</td> <td>40% o se repara</td> </tr> </tbody> </table>	IRI (m/km)	Multas	1.5 > IRI	0%	1.5 ≤ IRI < 1.75	5%	1.75 ≤ IRI < 2.0	10%	2.0 ≤ IRI < 2.5	20%	2.5 ≤ IRI	40% o se repara	NA Se concibe como factor de aceptación o rechazo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>IRI (m/km)</th> <th>Multas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.0 &gt; IRI</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>2.0 ≤ IRI &lt; 2.5</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>2.5 ≤ IRI &lt; 3.0</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>3.0 ≤ IRI &lt; 3.5</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>3.5 ≤ IRI &lt; 4.0</td> <td>40%</td> </tr> <tr> <td>4.0 ≤ IRI</td> <td>Se repara</td> </tr> </tbody> </table>	IRI (m/km)	Multas	2.0 > IRI	0%	2.0 ≤ IRI < 2.5	5%	2.5 ≤ IRI < 3.0	10%	3.0 ≤ IRI < 3.5	20%	3.5 ≤ IRI < 4.0	40%	4.0 ≤ IRI	Se repara
IRI (m/km)	Multas																												
1.5 > IRI	0%																												
1.5 ≤ IRI < 1.75	5%																												
1.75 ≤ IRI < 2.0	10%																												
2.0 ≤ IRI < 2.5	20%																												
2.5 ≤ IRI	40% o se repara																												
IRI (m/km)	Multas																												
2.0 > IRI	0%																												
2.0 ≤ IRI < 2.5	5%																												
2.5 ≤ IRI < 3.0	10%																												
3.0 ≤ IRI < 3.5	20%																												
3.5 ≤ IRI < 4.0	40%																												
4.0 ≤ IRI	Se repara																												

Por tanto, corresponderá a la Administración definir y utilizar los mecanismos que considere aplicables y convenientes a nivel legal y administrativo, para el buen desarrollo y término del proyecto en cuestión, así como para futuros proyectos de similar condición.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, M. *Metodología para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras para proyectos de rehabilitación en Cuba, a partir de la medida de deflexiones con viga Benkelman*. Tesis de maestría, La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, 2012.
- Arriaga, M., P. Garnica, y A. Rico. *índice internacional de rugosidad en la red carretera de máximo*. Publicación técnica No. 108, Sanfandila. Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, 1998.
- Badilla, G., F. Elizondo, y R. Barrantes. *Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI*. Informe de investigación N° UI-03-08, San José: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, 2008.
- Bonilla, C., y C. Dubón. *Manual de procesos constructivos para pavimentos de baja intensidad de tráfico en El Salvador, utilizando concreto hidráulico simple y emulsiones asfálticas*. Trabajo de graduación previo a la opción al Grado de. Ingeniero civil, San Salvador: Universidad del Salvador, 2008.
- Canadian Strategic Research Program (C-SHRP). *Summary of Pavement Smoothness Specifications in Canada and Around the World*. Technical Brief #16, Transportation Association of Canada, 1999.
- Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). «La Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas-Liberia .» Cartel de Licitación LPI No. 2011LI-000004-0DI00, 2011.
- Etcheberry, J., G. Millan, y S. Galilea. *Manual de carreteras*. Especificaciones técnicas generales de construcción, Departamento manual de carreteras. Dirección de Vialidad - MOP- Chile, 2003.
- Federal Highway Administration . *Highway Performance Monitoring System*. Field Manual , U.S. Department of Transportation, 2012.
- González, W. *Propuesta de I+D+I de instrumentos de medición de niveles de serviciabilidad de carreteras asfaltadas: un aporte de innovación tecnológica al mantenimiento de obras de infraestructura vial*. Tesis para optar por el grado de maestría en gestión empresarial, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2009.
- Kentucky Transportation Cabinet. «Supplemental Specifications to the Standard Specifications for Road and Bridge Construction.» 2012. <http://transportation.ky.gov/Pages/default.aspx> (último acceso: 5 de Marzo de 2014).

- Ministerio de Obras Públicas y Comunicación. «Normas para la estructura del pavimento.» Manual de Carreteras del Paraguay, 2011.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Especificaciones generales para construcción de carreteras* (EG - 2000). 2000.  
[http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos\\_ferro/manual/eg-2000/index.htm](http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/eg-2000/index.htm) (último acceso: 4 de marzo de 2014).
- Orozco, J., R. Téllez, R. Solorio, A. Pérez, M. Sánchez, y S. Torras. *Sistemas de Evaluación de Pavimentos*. Publicación Técnica No. 245, Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, 2004.
- Pagola, M., y O. Giovanon. *Aspectos a considerar al momento de definir exigencias de rugosidad en calzadas pavimentadas*. Brasil: XVI Congreso Iberoamericano del Asfalto, 2011.
- Sayers, M., T. Gillespie, y W. Paterson. *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*. World Bank Tech. Paper No. 45, Washington, D.C.: World Bank, 1982.
- Solminihac, H., C. Cabrera, y E. Bengo. «Evaluación de la capacidad estructural y funcional del pavimento durante el proceso de construcción.» Chile: 6to Congreso Internacional PROVIAL, 2002.
- Swanlund, M. «Enhancing Pavement Smoothness.» *Public Roads, Federal Highway Administration*, 2000: Vol. 64, No. 2.
- Ventura, J., y E. Alvarenga. *Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)*. Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. Ministerior de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y Desarrollo Urbano, 2005.
- Vialidad Ecuador. *Evaluación Funcional y Operativa de Vías y Pavimentos*.  
<http://www.vialidad.ec/sites/default/files/archivos/tecnicos/gestionVialDescentralizada2/Evalvias/iri.html> (último acceso: 14 de febrero de 2014).