

**INFORME
AUDITORÍA TÉCNICA
LM-AT-111-10**

**Evaluación de Regularidad Superficial (IRI)
Proyecto: Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 167
Sección: Librería Universal – M.A.G. (La Salle)**

Licitación Pública No. 016-2006

Diciembre 2010

ÍNDICE GENERAL

	Página
Ficha técnica	3
1. Introducción	4
2. Descripción del proyecto	5
3. Antecedentes	7
4. Metodología	8
5. Hallazgos y Observaciones de la Auditoría Técnica	11
6. Observaciones	
6.1 Sobre los resultados del ensayo del índice de regularidad superficial IRI realizado por el LanammeUCR.	11
6.1.1 Resultados de IRI con base de medición de 200 m	13
6.1.2 Resultados de IRI con base de medición de 100 m	15
6.1.3 Resultados de IRI con base de medición de 50 m	17
6.1.4 Resultados de IRI con base de medición de 10 m	19
6.2 Comparación de los resultados obtenidos con le especificación del CR-2010	22
6.2.1 Sentido Librería Universal-M.A.G. (La Salle)	23
6.2.2 M.A.G. (La Salle)- Sentido Librería Universal	24
7. Conclusiones	28
8. Recomendaciones	29
Anexo 1	31

INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA

Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 167 Sección: Librería Universal- Ministerio de Agricultura y Ganadería (La Salle)

Licitación Pública 016-2006

Departamento encargado del proyecto: Dirección de Obras, CONAVI

Monto original del contrato: ¢ 3.553.639.269,90

Plazo original de ejecución: 300 días efectivos

Longitud del proyecto: 1,300 km. (un kilómetro y trescientos metros)

Coordinador General del Programa Ingeniería del Transporte PITRA :

- Ing. Luís Guillermo Loría Salazar, MSc Eng.

Coordinadora de Auditoría Técnica:

- Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.

Audidores:

- Ing. Ana Hidalgo Arroyo
- Ing. Raquel Arriola Guzmán

Asesor Legal externo:

- Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

- Evaluación de Índice de Regularidad Superficial (IRI) en pavimento rígido.

Referencias:

- Fecha de entrega informe de laboratorio No I-0588-10: 16 de junio del 2010

Ubicación de la ruta auditada:



Figura 1. Proyecto Librería Universal – M.A.G. (La Salle), Ruta Nacional No. 167.
(Fuente: Google Earth, 2010)

1. INTRODUCCIÓN

El propósito de las auditorías técnicas que realiza el LanammeUCR, como parte de sus tareas asignadas por la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria, Ley No.8114 y su reforma, es el de producir informes que permitan al Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Contraloría General de la República, Defensoría de los Habitantes, Ministerio de la Presidencia y Asamblea Legislativa conocer la situación técnica administrativa y financiera de los proyectos viales durante cada una de sus etapas: planificación, diseño y especificaciones; cartel y proceso licitatorio; ejecución y finiquito. La finalidad de esas auditorías consiste en que de manera oportuna se tomen decisiones correctivas y preventivas, se ejerza una adecuada comprobación, monitoreo y control de los contratos de obra, mediante un análisis comprensivo desde la fase de planificación hasta el finiquito del contrato tanto para éste como para futuros proyectos de construcción de obra.

El objetivo específico de este informe de auditoría es informar a las autoridades de ley, los resultados de la evaluación del Índice de Regularidad Superficial (IRI) realizada por el LanammeUCR en la superficie de ruedo del proyecto de Mejoramiento de la Ruta No. 167, Sección Librería Universal – Ministerios de Agricultura y Ganadería (La Salle).

Para este proyecto en específico, en el cartel de licitación no se establece especificación de IRI. Sin embargo, debido a la importancia del IRI en el desempeño futuro del pavimento es que esta Auditoría Técnica ha realizado la evaluación de este parámetro al proyecto en mención. Cabe mencionar que internacionalmente este indicador es un parámetro de primer orden en la aceptación (control de calidad) del pavimento nuevo y en la evaluación del pavimento en servicio,

A nivel de proyecto el índice de regularidad superficial es utilizado mundialmente como parámetro de aceptación y aseguramiento de la calidad del proyecto. Además, es una herramienta importante utilizada para determinar el momento oportuno para aplicar un mantenimiento efectivo a una vía. Este parámetro representa la magnitud y la frecuencia del efecto en los vehículos de las irregularidades verticales presentadas a lo largo de la vía, y que se traducen para el usuario en la confortabilidad percibida al transitar la vía.

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 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 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.

El perfil real de una carretera recién construida tiene un estado cero, pero se define por su IRI inicial mayor a cero, debido principalmente a que alcanzar valores de IRI = 0 es sumamente difícil desde el punto de vista constructivo. Una vez puesta en servicio, la regularidad del pavimento se modifica lentamente en función del paso del tránsito.¹

En el contexto latinoamericano países como Chile y México, utilizan el valor de IRI como uno de los parámetros de aceptación de proyectos de obra vial en el contexto centroamericano, El Salvador especifica que el valor de IRI medido en tramos de 100m, no debe sobrepasar los 2,5 m/km. para pavimentos de concreto hidráulico de vías interurbanas².

En el caso de Costa Rica en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010, en el apartado 501.14 Control de regularidad (IRI) en pavimentos de losas de concreto”, se especifica lo siguiente: *“Se entenderá que la superficie del pavimento tiene una regularidad aceptable, si todos los promedios consecutivos de diez valores de IRI tienen un valor igual o inferior a 2,5 m/km. y ninguno de los valores individuales supera 3.0m/km”*.³

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

² Ventura Espinal José Antonio, Alvarenga Edwin. “Determinación del Índice de regularidad Superficial (IRI). Ministerio de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y de Desarrollo Urbano. El Salvador.

³ Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010. Costa Rica, 2010.

2. DESCRIPCION DEL PROYECTO

Como datos generales, el proyecto de la licitación pública No. 016-2006, se ubica en el cantón Central de la provincia de San José, en el distrito de Mata Redonda. Inicia en el costado norte de la Librería Universal, sobre la Ruta Nacional No. 167 y finaliza al costado norte del Ministerio de Agricultura y Ganadería, también sobre la Ruta No. 167. La longitud total del proyecto es de 1,300 kilómetros. Tal como se ejemplifica en la Figura No 2.



Figura 2. Proyecto Librería Universal-La Salle Ruta Nacional No. 167
Fuente: Google Earth, 2009

El monto del contrato era de tres mil quinientos cincuenta y tres millones seiscientos treinta y nueve mil doscientos sesenta y nueve con noventa colones (¢ 3.553.639.269,90 colones) y el plazo de ejecución inicial era de 300 días efectivos contados a partir de la orden de inicio de la obra.

De acuerdo con el cartel de licitación, los trabajos consisten en la sustitución de la estructura de concreto existente, estabilización con cemento Portland del material de subbase para obtener una base estabilizada BE-35 de 15 cm. de espesor, sobre la que se debe colocar una losa de concreto hidráulico de 24 cm. de espesor como superficie de ruedo; también se incluye construcción de las obras de drenaje requeridas, la construcción de una isla central, aceras longitudinales de concreto y el cordón y caño, la colocación de señalización vial horizontal y vertical.

3. ANTECEDENTES

Previo a este informe de auditoría técnica, desde el año 2009 se ha realizado en varios proyectos del CONAVI la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI), tanto para pavimentos flexibles como rígidos, entre estos se pueden citar los informes LM-AT-156-09 Evaluación Superficial en la Ruta Nacional No. 204 sección: Zapote-San Francisco emitido el 12 de junio del presente año y LM-AT-215-09 Evaluación Superficial y auscultación visual del pavimento en la Ruta Nacional No. 211 sección: San Francisco – La Colina, ambos informes desarrollados en pavimento de concreto, al igual que el proyecto auditado.

En términos generales los resultados del Índice de Regularidad Internacional en estos Informes realizados por la Unidad de Auditoría Técnica, muestran valores superiores a los valores máximos establecidos en las especificaciones internacionales tomadas como referencia.

En los informes de auditoría técnica mencionados se ha recomendado al CONAVI que para futuros proyectos considere dentro de las especificaciones de los carteles de licitación, requerimientos de regularidad superficial (IRI) como uno de los indicadores de calidad para aceptación de los proyectos.

Sobre este proyecto un antecedente importante es el informe LM-AT-255-09 “Evaluación de Regularidad Superficial (IRI) del proyecto: Mejoramiento de la Ruta Nacional No.167 Sección: Librería Universal – M.A.G. (La Salle)”, que se realizó sobre esta ruta en noviembre del año 2009. En este informe solo fue posible medir un carril de circulación, específicamente el carril interno en el sentido: Librería Universal-La Salle, debido a la etapa constructiva en la que se encontraba el proyecto

Para esa fecha (noviembre 2009) estaban contruidos solamente dos carriles (interno y externo) en sentido Universal – La Salle, sin embargo en el carril externo en sentido Universal – La Salle, no se pudo realizar la medición debido a que no tenía las condiciones de transitabilidad adecuadas para el paso del equipo de medición ya que había basura, maquinaria, equipo de construcción y vehículos estacionados. Por lo tanto la medición se realizó en el carril interno en el sentido Este – Oeste, tal como se indica en la Figura 3.

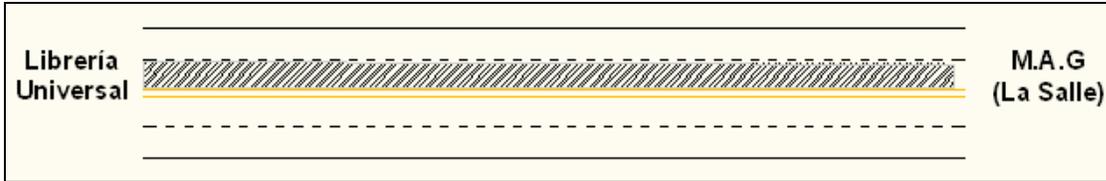


Figura 3. Croquis del carril evaluado en el informe LM-AT-255-09

Los resultados de regularidad obtenidos sobre este carril de circulación se pueden observar en la Tabla No 1.

Tabla No 1. Resumen de resultados de IRI carril interno en el sentido Universal-La Salle. Año 2009

Sentido	Base Medición	Carril Interno
Universal - La Salle	@ 200 m	-
	@ 100 m	2,7 a 3,9
	@ 50 m	2,7 a 3,9
	@ 10 m	2,5 a 4,3

Fuente: Informe Auditoria Técnica, LM-AT-255-09

4. METODOLOGÍA

Para el análisis de los resultados de medición del IRI se utilizó como referencia el informe UI-03-08 “Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI” preparado por la Unidad de Investigación del LanammeUCR.

En el informe UI-03-08 se presenta la Tabla No.2 que resume algunas referencias de especificaciones de IRI utilizadas a nivel internacional, las cuales se presentan como una referencia para la Administración y puedan ser utilizadas como base para contrastar los valores obtenidos para el proyecto objeto de esta auditoría.

Tabla No.2 Especificaciones Internacionales de 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 IRI obtenido en tramos de 100 m	2.0 \leq IRI \leq 2.6 m/km 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, LanammeUCR.

La referencia a estas especificaciones internacionales de IRI, se realiza en virtud de que para este proyecto en específico, en el cartel de licitación no se establece una especificación de IRI.

Para el presente informe LM-AT-111-10 se realizó la medición del IRI el 25 de mayo del 2010. Para el análisis de resultados se consideraron como singularidades los cambios de carril, baja velocidad y los puentes, por lo tanto las mediciones de IRI asociadas no se incorporan en el análisis de los datos 50 metros después de la singularidad.

La medición del IRI se realizó para los dos sentidos de circulación, y tanto para el carril externo como en el interno, como se puede observar en la siguiente figura que muestra un croquis del proyecto.

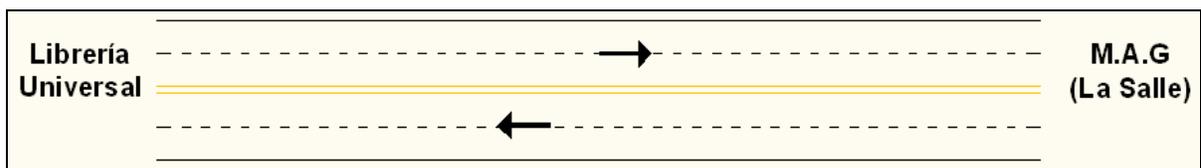
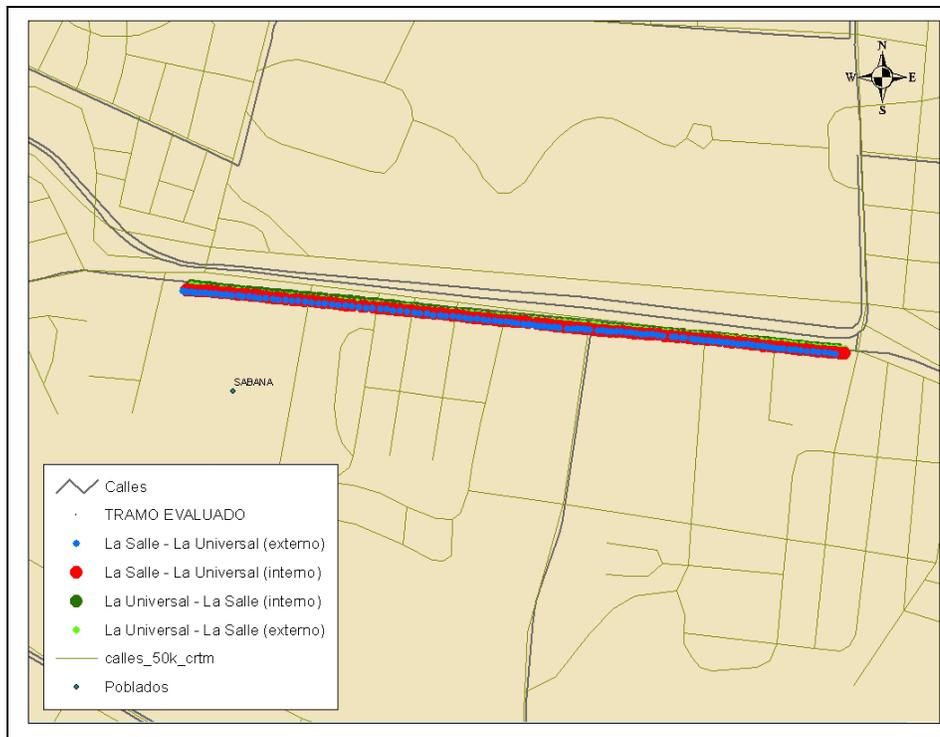


Figura 4. Croquis del proyecto

5. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Todos los hallazgos y observaciones declarados por el equipo auditor en este informe de auditoría se fundamentan en evidencias representativas, veraces y objetivas, sustentadas en la observación de los procesos constructivos durante la visita y respaldados en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría, el propio testimonio del auditado, la recolección y análisis de evidencias.

Se entiende como hallazgo de auditoría a un hecho que hace referencia a una normativa o bien, a algún documento contractual; ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Por otra parte, las observaciones se fundamentan en normativas o especificaciones que no son documentos contractuales, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería y a la experiencia internacional. Además tienen la misma relevancia técnica que un hallazgo, ya que corresponden a hechos evidenciados por el equipo auditor.

Por lo tanto las recomendaciones que se derivan del análisis de los hallazgos y observaciones deben ser atendidas planteando acciones correctivas y preventivas, que prevengan el riesgo potencial de incumplimiento.

Este informe no incluye análisis de hallazgos debido a que el IRI no es un parámetro de evaluación de la calidad establecido en el cartel de licitación de este proyecto, sin embargo cabe recalcar que esta auditoría técnica considera importante realizar la evaluación de este parámetro por las ventajas funcionales y el efecto en los costos de operación de los usuarios y de conservación de carreteras que tiene.

6. OBSERVACIONES

6.1 Sobre los resultados del ensayo del índice de regularidad superficial IRI realizado por el LanammeUCR.

Con el fin de realizar una evaluación de la obra utilizando una normativa de referencia, la Auditoría Técnica del LanammeUCR se basará en referencias de especificaciones internacionales de IRI, tal como se indica en la Tabla No.2.

Debido a la inexistencia de una especificación, es que la Unidad de Auditoría Técnica analiza el Índice de Regularidad Superficial con diferentes bases de medición, ya que varían de acuerdo con el objetivo deseado. 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 No.3 se muestra las bases de medición utilizadas por el equipo auditor para el análisis del IRI.

Tabla No 3. Bases de medición de IRI utilizadas en el informe LM-AT-111-10

Nivel	Base de medición	Objetivo
Red	Cada 200m.	Aplicación para la verificación de la regularidad superficial a nivel de red (especificación de Chile) ⁴
Proyecto	Cada 100m.	Aplicación para la verificación de regularidad superficial general del proyecto (especificación El Salvador, Canadá) ⁵
	Cada 50 m.	Aplicación para la verificación de regularidad superficial localizada del proyecto
	Cada 10m.	Aplicación para el control e identificación de irregularidades puntuales a nivel de proyecto para su corrección

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

Para ilustrar esta diferencia de valores de IRI calculados a diferentes distancias, el LanammeUCR realizó el cálculo de mediciones de Índice de Regularidad Superficial en intervalos de 200m, 100m, 50m y 10m. Los resultados obtenidos se pueden observar en las secciones siguientes, en los gráficos del No 1 al No 8.

⁴ Fuente: LanammeUCR. Informe UI-03-08. Procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI. 2008.

⁵ Fuente: Li Ningyuan et al. Quality Assurance Applied in Measuring Pavement Roughness of Ontario Provincial Roads", Canada.

6.1.1. Resultados de IRI con base de medición de 200 m:

La medición del índice de regularidad internacional (IRI) en intervalos de 200 m se utiliza para realizar una evaluación a nivel de red vial, en la que no se requiere de mediciones detalladas, y las cuales se utilizan para programar intervenciones de mantenimiento o de reconstrucción y definir prioridades, tal y como se menciona en la Tabla No. 3.

A continuación se presentan los gráficos del No 1 y No 2 donde se muestra la variación del IRI a lo largo del proyecto utilizando una base de medición cada 200m.

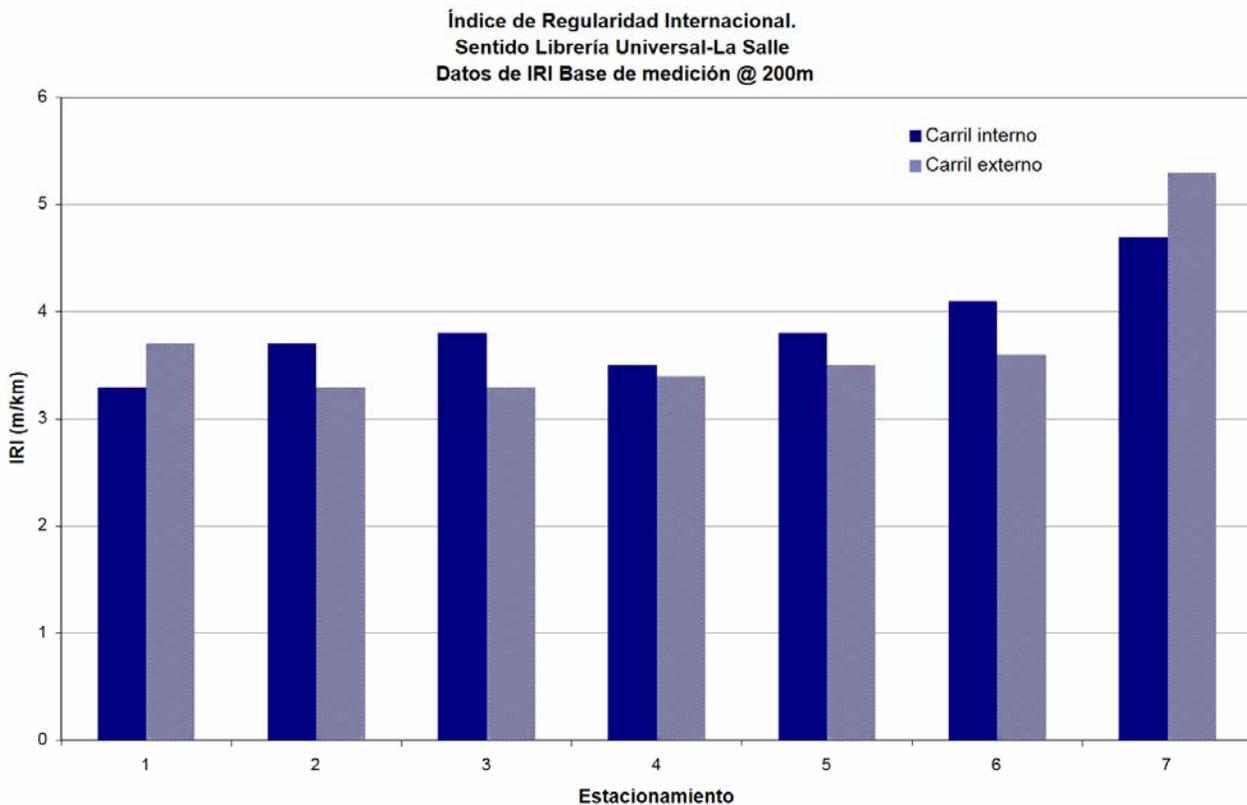


Gráfico No 1. Valores individuales de IRI, en el sentido de circulación Universal – La Salle, para ambos carriles. Base de medición cada 200m.

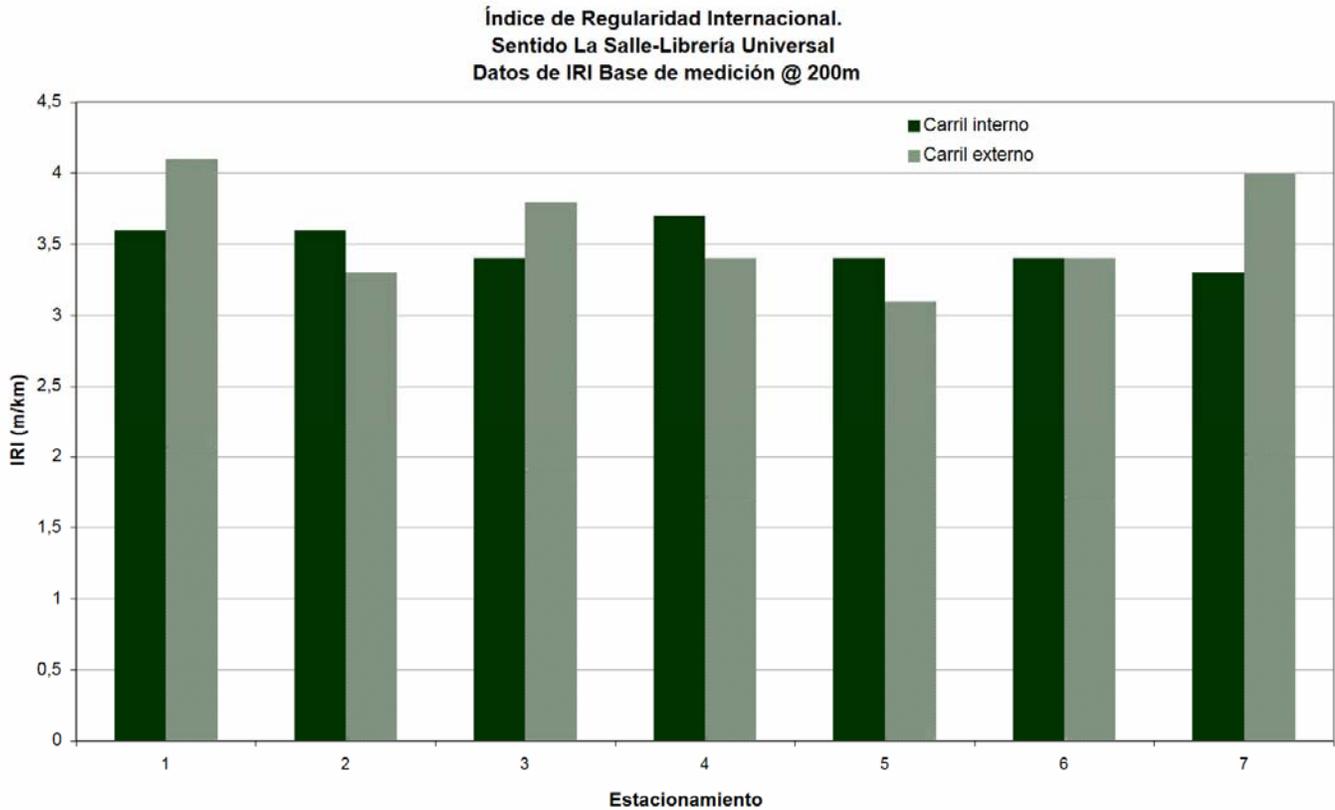


Gráfico No 2. Valores individuales de IRI, en el sentido de circulación La Salle – Universal, para ambos carriles. Base de medición cada 200m.

En el Gráfico No. 1 en el sentido Universal – La Salle, se observa un rango de IRI de:

- Para el carril interno: 3,3 a 4,7 m/Km
- Para el carril externo: 3,3 a 5,3 m/Km

En el Gráfico No. 2 en el sentido La Salle – Universal, se observa un rango de IRI de:

- Para el carril interno: 3,3 a 3,7 m/Km
- Para el carril externo: 3,1 a 4,1 m/Km

6.1.2. Resultados de IRI con base de medición de 100 m:

La medición del parámetro IRI en intervalos cada 100 m se utiliza, al igual que el caso anterior, para realizar una evaluación a nivel de red vial, en la que no se requiere de mediciones detalladas, pero siendo esta menor muestra más detalle de la regularidad del proyecto.

Los resultados de IRI como aplicación para la verificación de regularidad superficial general del proyecto, con base de medición de 100 m, se presentan a continuación en los gráfico No 3 y No 4:

Para efectos de referencia, esta base de medición de 100 metros es utilizada en la especificación de El Salvador, en donde el IRI para pavimento flexible debe ser $\leq 2,5$ m/Km. en el caso de un pavimento rígido en vías interurbanas, utilizando una base de medición de 100 m. Los resultados obtenidos en comparación con esta especificación se puede observar en los siguientes gráficos.

En el Gráfico No. 3 en el sentido Universal – La Salle, se observa un rango de IRI de:

- Para el carril interno: 3,2 a 4,7 m/Km.
- Para el carril externo: 3,1 a 5,8 m/Km.

Como se observa en el Gráfico No. 4 en el sentido La Salle – Universal, se observa un rango de IRI de:

- Para el carril interno: 3,1 a 4,0 m/Km.
- Para el carril externo: 3,1 a 4,3 m/Km.

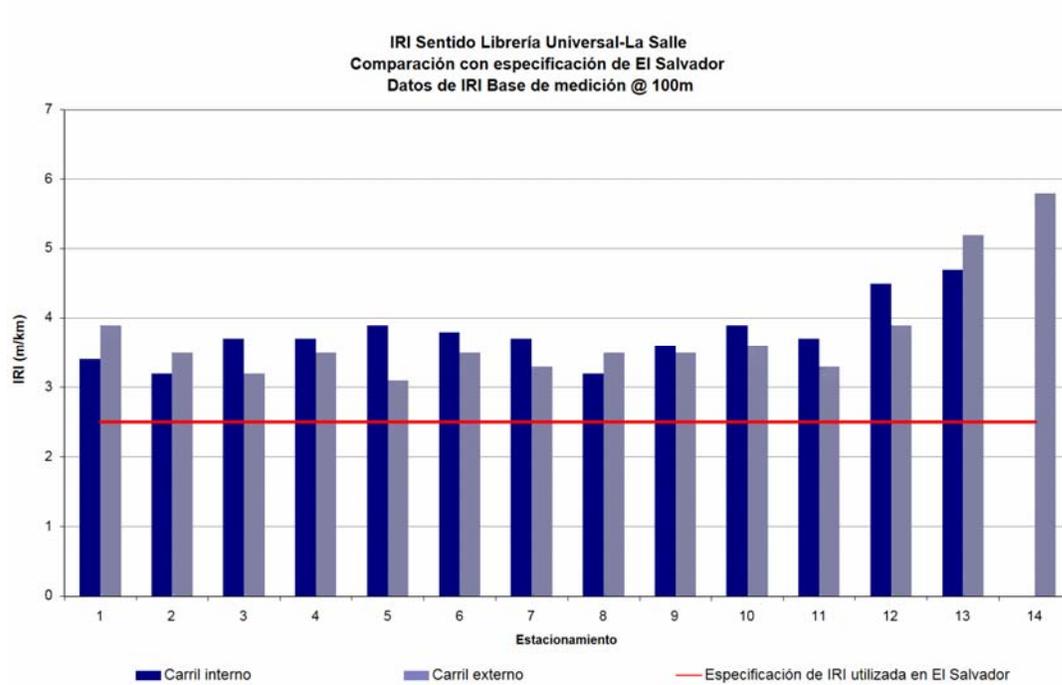


Gráfico No 3. Valores individuales de IRI, en el sentido de circulación Universal – La Salle, para ambos carriles. Base de medición cada 100m.

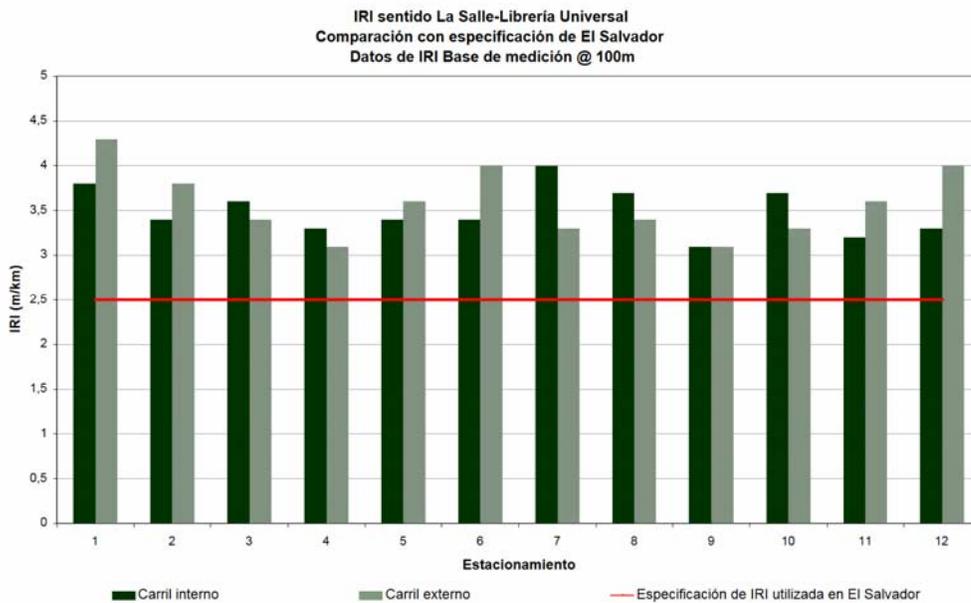


Gráfico No 4. Valores individuales de IRI, en el sentido de circulación La Salle – Universal, para ambos carriles. Base de medición cada 100m.

6.1.3 Resultados de IRI con base de medición de 50 m:

Al implementar la medición del índice de regularidad internacional (IRI) en intervalos de 50 m, se busca realizar una verificación de regularidad superficial localizada del proyecto, al mostrar mayor detalle en los datos obtenidos se pueden identificar con mayor facilidad puntos con irregularidades importantes que al ser detectados pueden ser corregidos. A continuación se presentan los gráficos del No 5 y No 6 donde se muestra la variación del IRI a lo largo del proyecto utilizando una base de medición cada 50m.

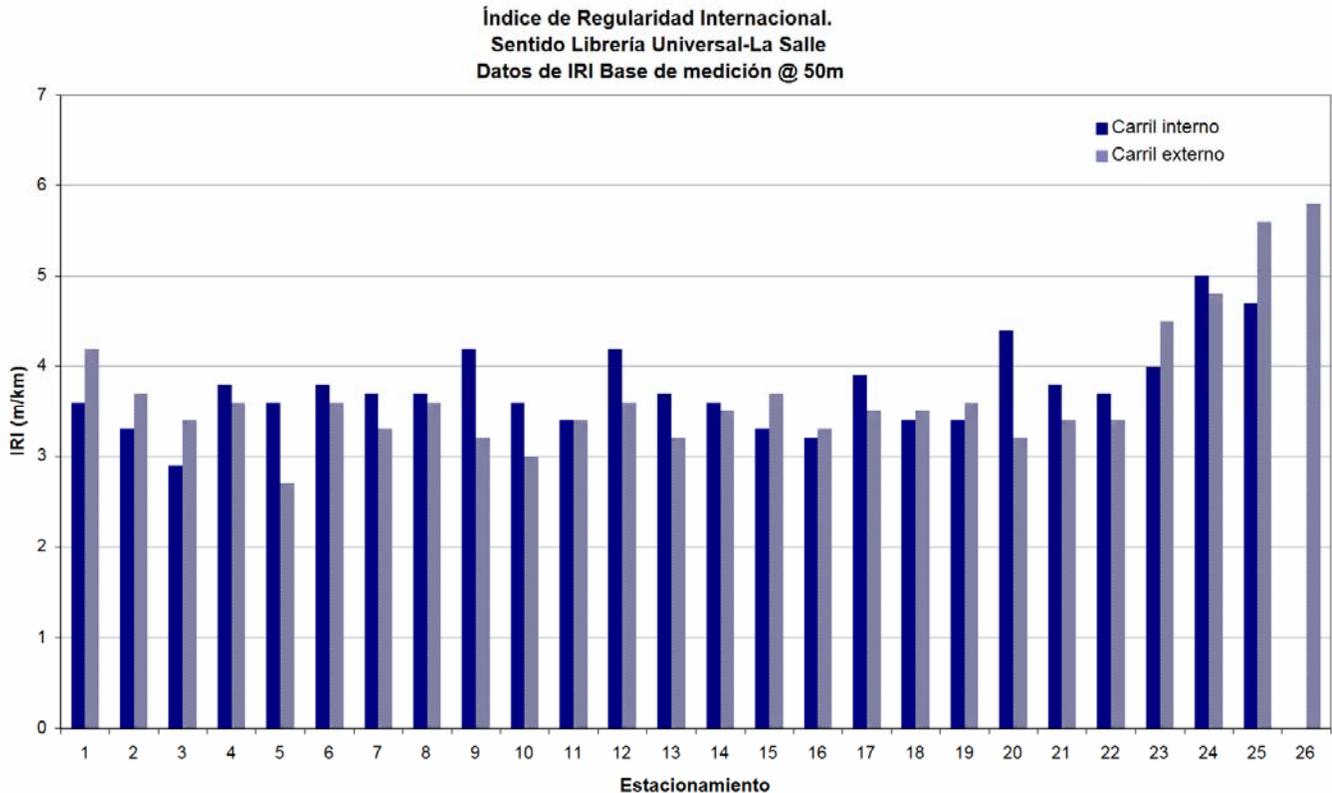


Gráfico No 5. Valores individuales de IRI, en el sentido de circulación Universal – La Salle, para ambos carriles. Base de medición cada 50m.

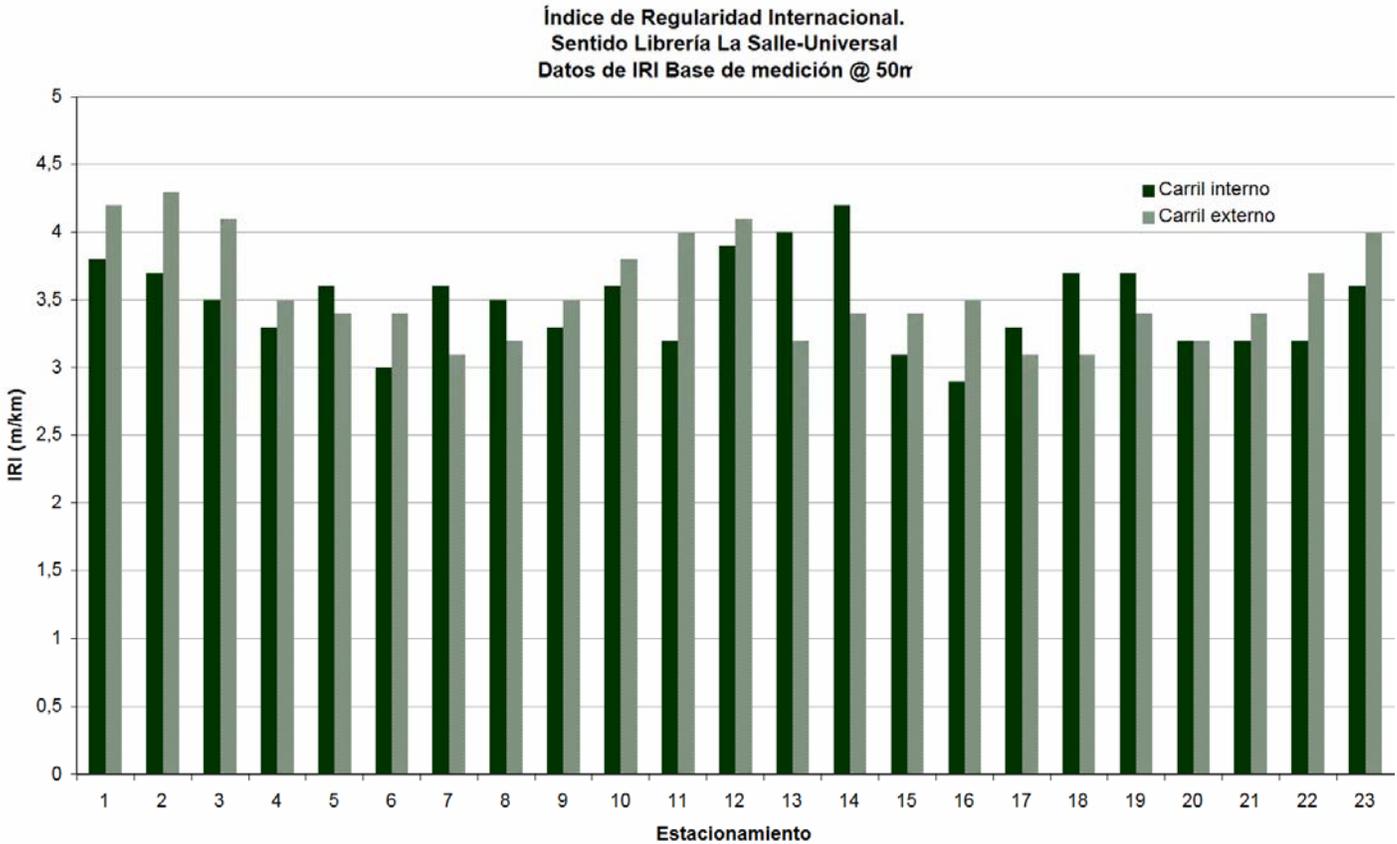


Gráfico No 6. Valores individuales de IRI, en el sentido de circulación La Salle – Universal, para ambos carriles. Base de medición cada 50m.

Se muestra en el Gráfico No. 5 en el sentido Universal – La Salle, se observa un rango de IRI de:

- Para el carril interno: 2,9 a 5,0 m/Km
- Para el carril externo: 2,7 a 5,8 m/Km

Como se observa en el Gráfico No. 6 en el sentido La Salle – Universal, se observa un rango de IRI de:

- Para el carril interno: 2,9 a 4,2 m/Km
- Para el carril externo: 3,1 a 4,3 m/Km

6.1.4 Resultados de IRI con base de medición de 10 m:

Una frecuencia de medición comúnmente utilizada en países como Canadá, para medir el Índice de Regularidad Superficial en obras nuevas como criterio de aceptación final de proyecto, es de 10 metros y es útil para la detección de zonas específicas con altas irregularidades, donde se necesita determinar si se requiere de algún mejoramiento en la superficie:

“Por definición el IRI es un resumen estadístico de los datos agregados de la elevación del perfil. Cuando se usa como especificación de finiquito para pavimentos... recientemente construidos, se utiliza una base de medición relativamente amplia (p ej. 100 metros) permitiría una evaluación global del pavimento, y una base relativamente más corta (p ej. 10 metros) permitiría identificar secciones mucho más cortas con altos niveles de rugosidad que de otra forma no podrían ser identificadas.”⁶

La medición del IRI para evaluar una obra a nivel de proyecto, requiere de precisión y detalle. En el caso de una evaluación a nivel de red vial, en la que no se requiere de mediciones tan detalladas, y las cuales se utilizan para programar intervenciones de mantenimiento o de reconstrucción y definir prioridades, las mediciones de IRI pueden realizarse en tramos con una base de medición de mayor longitud.

A continuación, se presenta el resultado de IRI utilizando como base de medición 10 metros en los carriles externo e interno, para ambos sentidos de circulación.

⁶ Traducción de Li Ningyuan, Frank Marciello and Tom Kazmierowski. “Quality Assurance Applied in Measuring Pavement Roughness of Ontario Provincial Roads”, Canada.

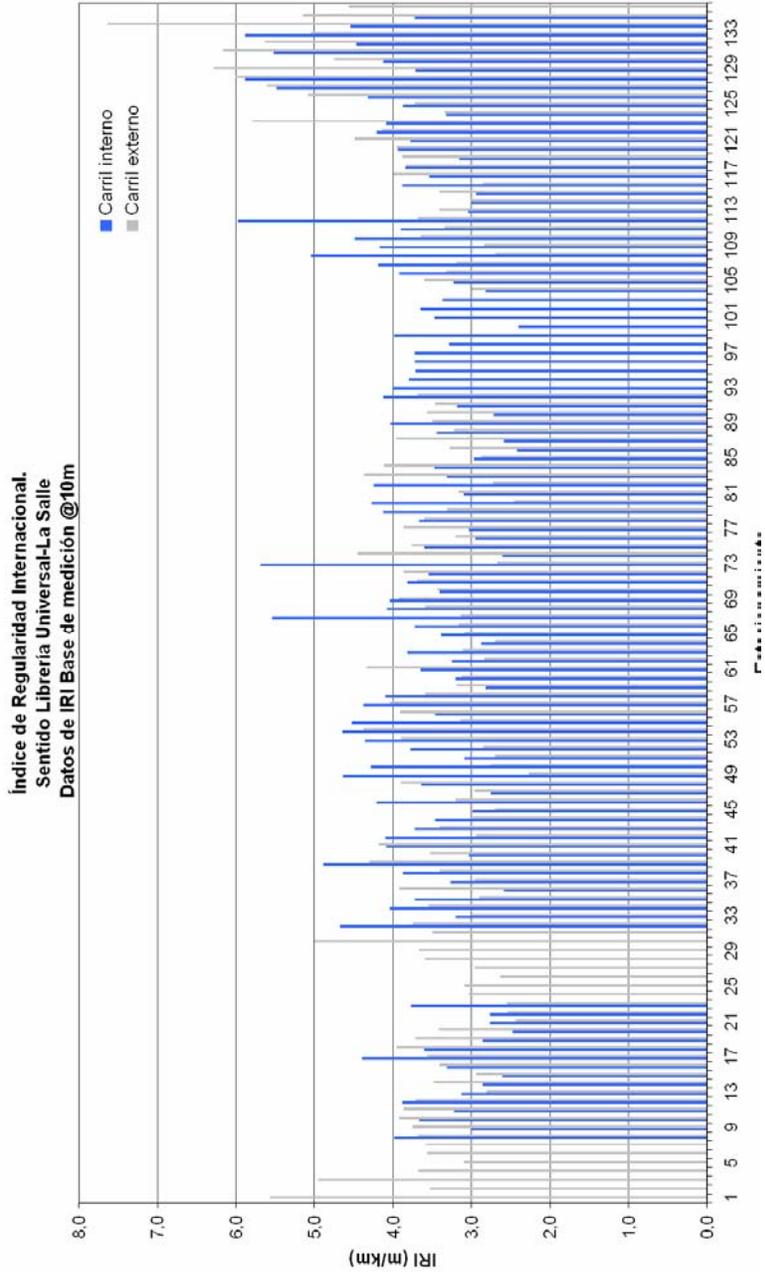


Gráfico No 7. Valores individuales de IRI, en el sentido de circulación Universal – La Salle, para ambos carriles. Base de medición cada 10m.

Nota: Los tramos que no presentan datos de IRI en el gráfico, indican presencia de singularidades por lo que no se consideran en los resultados de IRI. Entre las singularidades se consideraron: cambios de carril y baja velocidad.

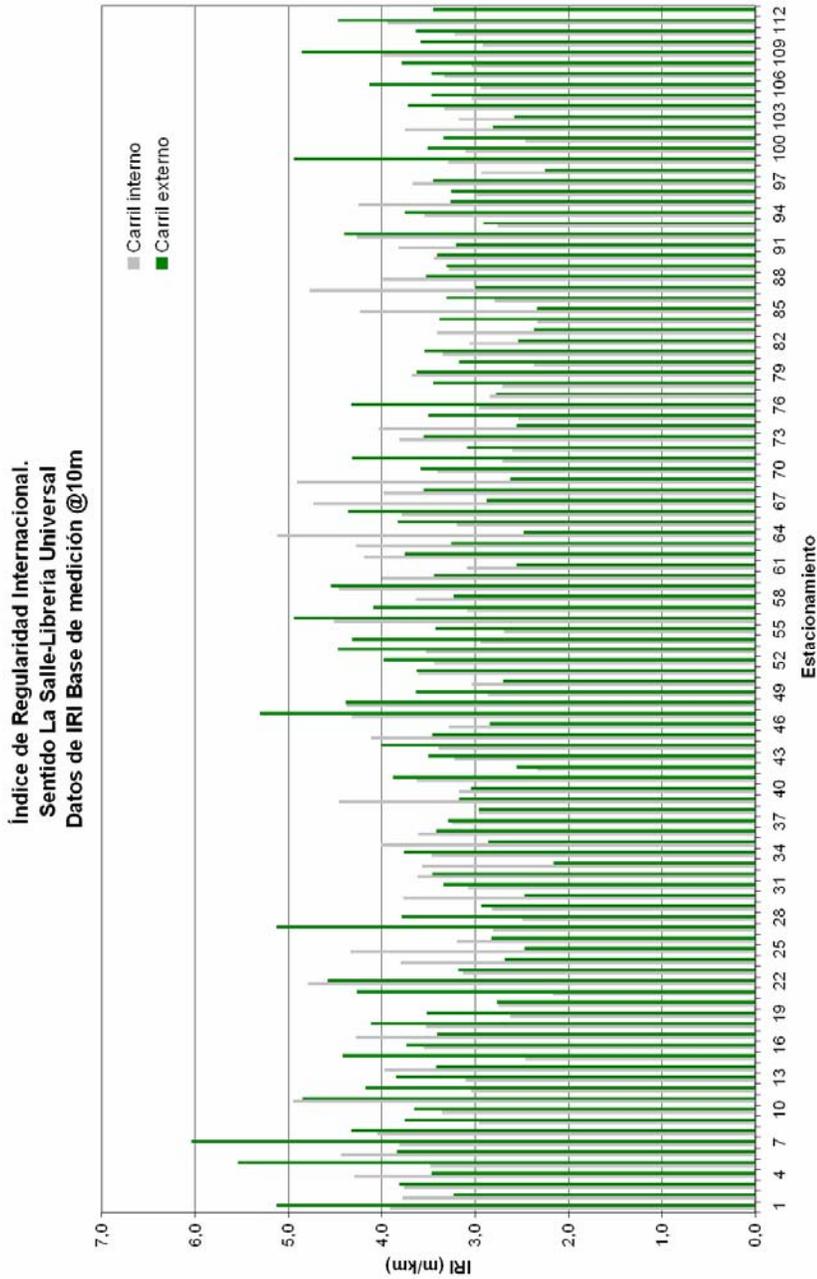


Gráfico No 8. Valores individuales de IRI, en el sentido de circulación La Salle – Universal, para ambos carriles. Base de medición cada 10m.

Nota: Los tramos que no presentan datos de IRI en el gráfico, indican presencia de singularidades por lo que no se consideran en los resultados de IRI. Entre las singularidades se consideraron: cambios de carril y baja velocidad.

Se aprecia en el Gráfico No. 7 en el sentido Universal – La Salle, se observa un rango de IRI de:

- Para el carril interno: 2,4 a 6,0 m/Km
- Para el carril externo: 2,3 a 7,6 m/Km

En el Gráfico No. 8 en el sentido La Salle – Universal, se observa un rango de IRI de:

- Para el carril interno: 2,2 a 5,1 m/Km
- Para el carril externo: 2,2 a 6,0 m/Km

Como se puede observar las mediciones realizadas cada 10 metros, reflejan para el valor máximo de IRI, irregularidades mayores que las medidas cada 50m, 100m y 200m. Esta medición más precisa y detallada, podría ayudar a encontrar secciones con problemas específicos y determinar si es necesaria alguna corrección de la superficie.

Tabla No. 4. Resumen de resultados de IRI

Sentido	Base Medición	Rangos de IRI	
		Carril Interno	Carril Externo
Universal-La Salle	200 m	3,3 a 4,7	3,3 a 5,3
	100 m	3,2 a 4,7	3,1 a 5,8
	50 m	2,9 a 5,0	2,7 a 5,8
	10 m	2,4 a 6,0	2,3 a 7,6
La Salle- universal	200 m	3,3 a 3,7	3,1 a 4,1
	100 m	3,1 a 4,0	3,1 a 4,3
	50 m	2,9 a 4,2	3,1 a 4,3
	10 m	2,2 a 5,1	2,2 a 6,0

6.2 Comparación de los resultados obtenidos con la especificación del CR-2010

Con el fin de establecer una normativa de referencia la Auditoría Técnica del LanammeUCR utilizó el criterio de aceptación definido en las “Especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica”, CR-2010 (que no es un documento de prevalencia del cartel del proyecto) para evaluar este proyecto.

501.14 Control de regularidad (IRI) en pavimentos de losas de concreto”, señala lo siguiente: ... *Se entenderá que la superficie del pavimento tiene una regularidad aceptable, si todos los promedios consecutivos de diez valores de IRI tienen un valor igual o inferior a 2,5m/km. y ninguno de los valores individuales supera 3,0m/km....*

6.2.1 Sentido Librería Universal-M.A.G. (La Salle)

A continuación se muestran en los siguientes gráficos, la condición del IRI según el CR-2010, para tramos consecutivos de 100 m. En el Grafico No 9 se puede observar el valor de los datos individuales y la especificación; en el Gráfico No 10 se muestra el promedio de 10 tramos consecutivos de 100m.

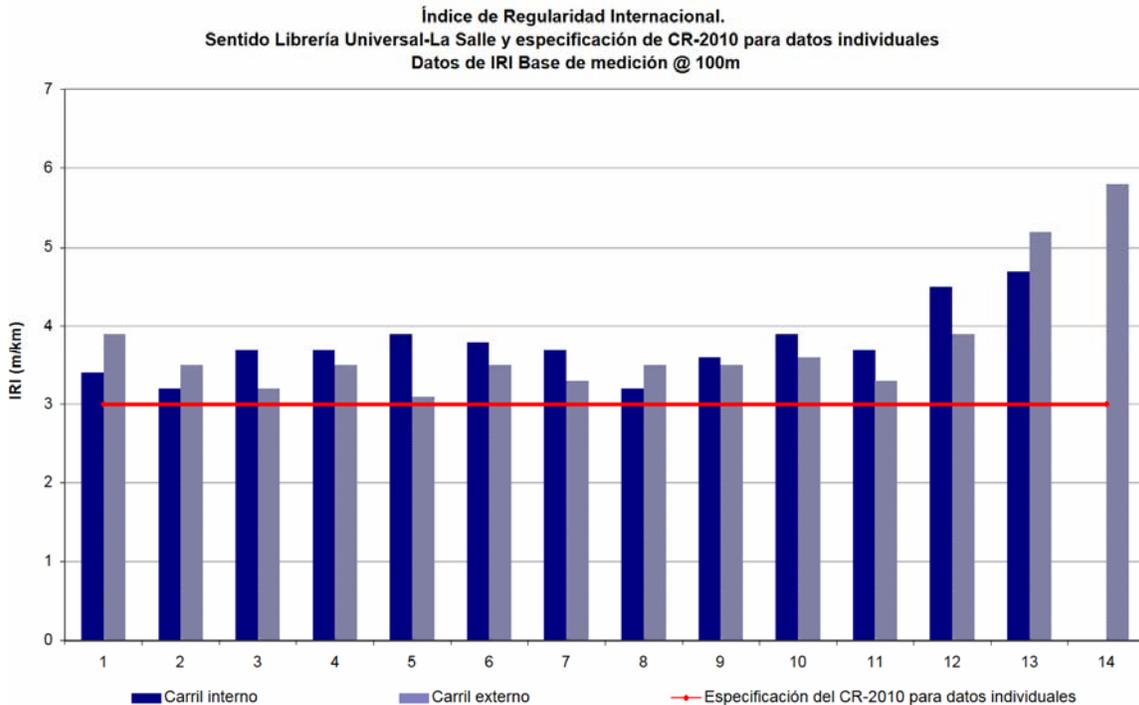


Gráfico No 9. Valores individuales de IRI, en el sentido de circulación Universal-La Salle. Base de medición cada 100m, en comparación con la especificación de IRI del CR-2010

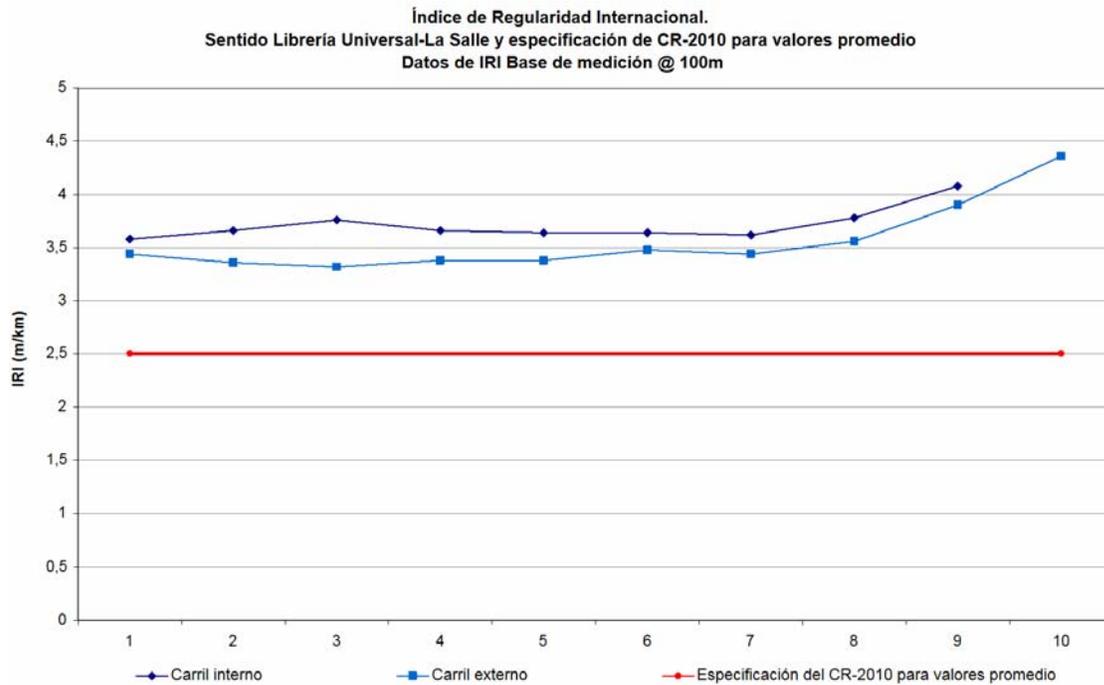


Gráfico No 10. Valores promedio de IRI, en el sentido de circulación La Salle-Universal. Base de medición cada 100m, en comparación con la especificación de IRI del CR-2010.

6.2.2 Sentido M.A.G. (La Salle) - Librería Universal

A continuación se muestran en los siguientes gráficos, la condición del IRI según el CR-2010, para tramos consecutivos de 100 m. En el Gráfico No 11 se puede observar el valor de los datos individuales y la especificación; en el Gráfico No 12 se muestra el promedio de 10 tramos consecutivos de 100m.

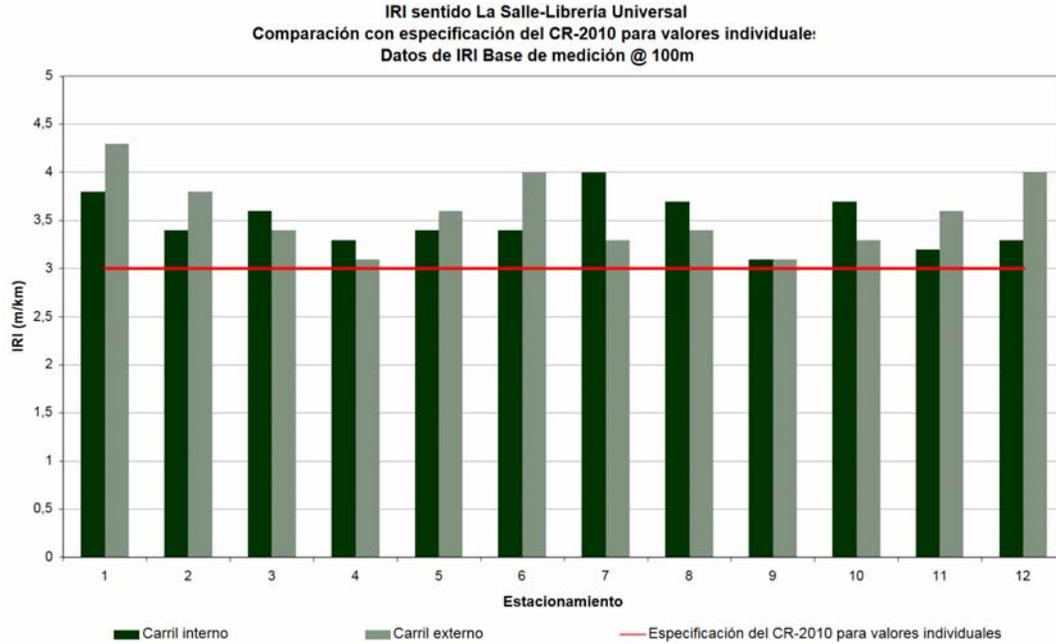


Gráfico No 11. Valores individuales de IRI, en el sentido de circulación Universal-La Salle. Base de medición cada 100m, en comparación con la especificación de IRI del CR-2010.

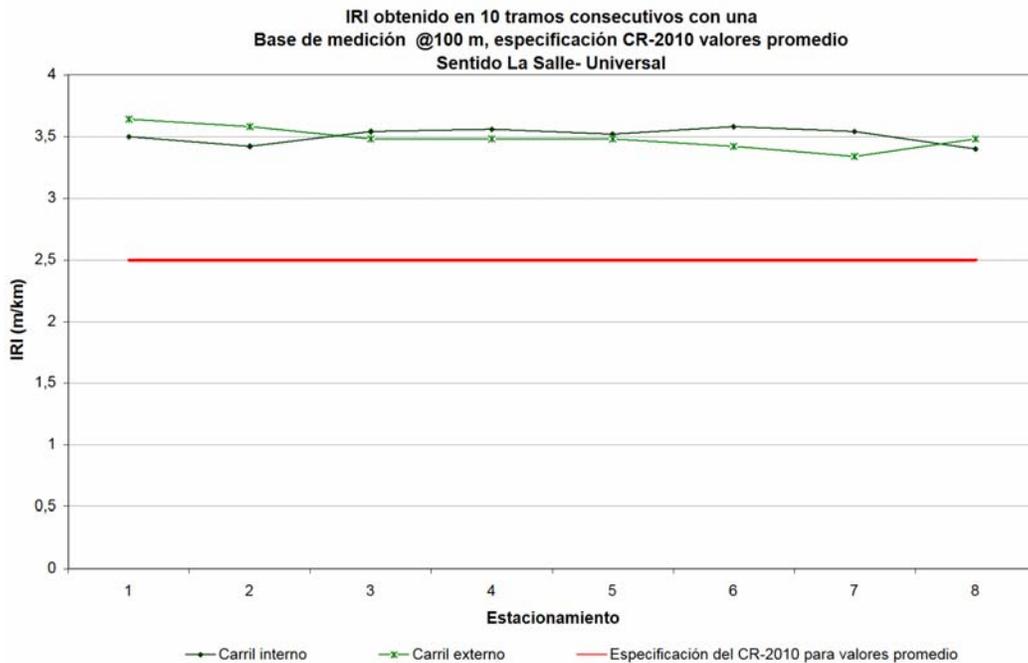


Gráfico No 12. Valores promedio de IRI, en el sentido de circulación La Salle-Universal. Base de medición cada 100m, en comparación con la especificación de IRI del CR-2010.

Utilizando como base de medición del IRI cada 100 m, tal como lo requiere la especificación, se realizó un análisis comparativo de los valores obtenidos para cada sentido de circulación en el proyecto y los rangos establecido por el CR-2010.

Para realizar dicha comparación, se utilizó como herramienta la sección 107 *Aceptación del Trabajo* del CR-2010. En la cual a partir de realizar un análisis estadístico utilizando los límites tanto inferior como superior de los requisitos establecidos. De esta forma cuantificar mediante un estimado estadístico (P_T) la cantidad (porcentaje) de resultados que se encuentra por fuera de los límites de referencia para la aceptación de una superficie de ruedo.

Para el sentido de circulación Librería Universal-MAG. (La Salle), para el carril interno se obtiene que $P_T=97,5\%$ (Porcentaje defectuoso) que se refiere al porcentaje total estimado de los datos individuales fuera del rango establecido ($\geq 3,0$ m/km.) y que para el rango de promedios consecutivos de diez valores de IRI ($\geq 2,5$ m/km.) se obtuvo un $P_T=100\%$. En el caso del carril externo se obtiene que $P_T=84,5\%$ (Porcentaje defectuoso) que se refiere al porcentaje total estimado de los datos individuales fuera del rango establecido ($\geq 3,0$ m/km.) y que para el rango de promedios consecutivos de diez valores de IRI ($\geq 2,5$ m/Km.) se obtuvo un $P_T=100\%$.

En el caso del sentido MAG. (La Salle-)-Librería Universal, se obtiene para el carril interno un valore de $P_T=79,5\%$ (Porcentaje defectuoso) que se refiere al porcentaje total estimado de los datos individuales fuera del rango establecido ($\geq 3,0$ m/km.) y que para el rango de promedios consecutivos de diez valores de IRI ($\geq 2,5$ m/km.) se obtuvo un $P_T=95,5\%$. Para el caso del carril externo se obtiene un valor de $P_T=94,5\%$ (Porcentaje defectuoso) que se refiere al porcentaje total estimado de los datos individuales fuera del rango establecido ($\geq 3,0$ m/km.) y que para el rango de promedios consecutivos de diez valores de IRI ($\geq 2,5$ m/km.) se obtuvo un $P_T=100\%$.

Según pruebas de IRI realizadas por el LanammeUCR en mayo del 2010, medidas cada 100m, indican que el promedio de 10 tramos consecutivos de 100m, no cumplen la especificación de que debe ser menor o igual a 2,5 m/km., ni que los valores individuales deben ser menores a 3 m/km. Esto se evidencia en los gráficos del No.9 al No.12 donde se presentan los resultados obtenidos utilizando el perfilómetro láser, para ambos sentidos del proyecto.

En el anexo de este informe se adjuntan los resultados del informe de campo de Laboratorio del LanammeUCR

Es importante mencionar que 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, el desgaste de las llantas 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 de estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento, lo que puede incrementar los costos en las actividades de conservación y rehabilitación.

En investigaciones en las cuales se ha evaluado la influencia de valores iniciales de IRI con el comportamiento del pavimento a largo plazo (Zaghloul, 1996), 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.⁷

⁷ Fuente: LanammeUCR. Informe UI-03-08. Procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI. 2008.

7. CONCLUSIONES

- 7.1** El cartel de licitación del proyecto: Mejoramiento (Ampliación) de la Ruta Nacional No. 167, sección: Universal – La Salle no establece como requisito la medición del IRI, sin embargo, en contraste con las especificaciones internacionales, los valores obtenidos de IRI para las diferentes bases de medición, presentan un rango de 2,7 a 3,9 m/km para una base de medición cada 100m y cada 50m y desde 2,5 a 4,3 utilizando una base de medición cada 10 m.
- 7.2** Para el caso de los valores de IRI obtenidos con una base de medición de 100 m y en contraste con especificaciones internacionales como las de El Salvador; el IRI del proyecto Librería Universal-MAG. (La Salle) no cumple con los valores establecidos para las características de un pavimento rígido nuevo en caminos interurbanos. Esto se puede observar en los gráficos del No 3 y No 4.
- 7.3** El promedio de 10 tramos consecutivos de 100m, no cumplen la especificación que debe ser menor o igual a 2,5 m/km y que valores individuales deben ser menores a 3,0 m/km. Esto se evidencia en los gráficos del No.9 al No.12 donde se presentan los resultados obtenidos utilizando el perfilómetro láser, para ambos sentidos del proyecto y la comparación con la especificación del CR-2010.
- 7.4** Considerando los resultados de los diferentes informes de auditoría técnica en los que se ha medido el IRI en proyectos nuevos (incluyendo el proyecto objeto de este estudio) y debido a que se han obtenido valores superiores a lo que establecen las especificaciones internacionales y nacionales (CR-2010), se concluye que en nuestro país no se exigen estándares de calidad de recepción de obras nuevas, que permitan asegurar el desempeño futuro de los pavimentos de la red vial costarricense.
- 7.5** De acuerdo con las investigaciones citadas en este informe, niveles de IRI iniciales más bajos se traducen en una mayor vida útil, costos anuales de mantenimiento y costos de operación de los vehículos más bajos, confort y seguridad, lo cual redundará en un beneficio para los usuarios de las vías de este país.

7. RECOMENDACIONES

A continuación se indican algunas recomendaciones sobre las observaciones realizadas por el equipo auditor para ser consideradas por la Administración (MOPT-CONAVI) como parte de las acciones de mejora a los proyectos de obra vial:

Al Director Ejecutivo, a la Dirección de Ingeniería, a la Dirección de Obras del CONAVI

- 8.1** Para futuros proyectos de construcción de obra vial, considerar dentro de las especificaciones de los carteles de licitación requerimientos de regularidad superficial (IRI) como uno de los indicadores de calidad para aceptación de los proyectos.
- 8.2** De igual manera, para futuros proyectos de construcción vial considerar dentro de los ensayos de autocontrol, la medición del IRI de manera que se pueda corregir oportunamente cualquier desviación con respecto a la especificación durante la fase constructiva y no hasta que se concluye el proyecto, en donde dichas reparaciones pueden resultar más difíciles y costosas.
- 8.3** A nivel de proyecto, considerar los valores de IRI con base de medición de 10 metros para efectos de identificar irregularidades puntuales que requieran reparación, principalmente en este proyecto en el que se identificó que hubo irregularidades en la conformación de la superficie de la base estabilizada que se pueden reflejar en la superficie de ruedo.
- 8.4** La Administración debe elaborar un procedimiento oficial que le permita evaluar un proyecto de acuerdo con parámetros de aceptación definidos antes de la recepción definitiva, de manera que se proteja la inversión pública y no se reciban proyectos con estándares que no son consistentes con los que debería tener una carretera nueva.

Ing. Luís Guillermo Loría Salazar. MSc.

Coordinador PITRA
LanammeUCR

Equipo Auditor

Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng

Coordinadora Auditoria Técnica
LanammeUCR

Ing. Raquel Arriola Guzmán
Auditora Técnica LanammeUCR

Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo
Auditora Técnica LanammeUCR

Visto bueno de legalidad

Lic. Miguel Chacón Alvarado
Asesor Legal Externo LanammeUCR

ANEXO 1

Informe de resultados del IRI