

Análisis de la problemática actual para el cumplimiento de la regularidad superficial en proyectos viales*

Stella Martínez Naranjo **

Jorge Alberto Tobón García ***

Recibido: 2 de mayo de 2012 Aprobado: 13 de junio de 2012

L'esprit Ingénieux Tunja - Colombia V 3 pp. 08 - 26 enero - diciembre 2012

Resumen

Este documento presenta los resultados de una investigación realizada para determinar los principales problemas asociados a la regularidad superficial de un pavimento y a la determinación del índice de regularidad superficial. Se documentan los métodos constructivos actualmente utilizados, los equipos de uso común en la región antioqueña y se establecen conceptos de personas representativas del gremio de la construcción de vías respecto al tema. Adicionalmente, se presentan los resultados de las mediciones realizadas con el uso de un equipo de medida óptica de tecnología láser y los análisis respectivos. Como principales conclusiones de este estudio se tiene el desconocimiento del tema por parte del personal técnico, el uso de equipo y procesos constructivos inadecuados y la aplicación de especificaciones que no consideran la realidad del medio. Finalmente, se presentan algunas recomendaciones para el mejoramiento de la tecnología.

PALABRAS CLAVE: Índice de regularidad superficial, IRI, perfil, perfilómetro láser, regularidad superficial.

Abstract

This document presents the results of an investigation to determine the main problems associated with the surface of a pavement regularity and determination of surface regularity index. Documenting the constructive methods currently used, equipment commonly used in the antioqueña region and are established concepts of people representative of the profession of the construction of roads on the subject. In addition, presented the results of the measurements made with the use of a device optical measurement technology laser and the respective analyses. As main conclusions of this study the ignorance of the subject on the part of the technical personnel, the constructive use of equipment and inadequate processes is had and the application of specifications that do not consider the reality of means. Finally, presented some recommendations for the improvement of technology.

KEY WORDS: Index of superficial regularity, IRI, profile, laser profilometer, superficial regularity.

I. INTRODUCCIÓN

La ingeniería de carreteras se había dedicado durante décadas a garantizar que la estructura del pavimento, quedara capacitada para asumir las cargas del tránsito solicitante, en el período de diseño que se hubiese planteado en un proyecto específico. Así, se dio preferencia a las metodologías que propenden por determinar la capacidad de la subrasante y los materiales usados, con todas las variantes que se conocen en la literatura técnica. Este modelo ha permitido formar generaciones de ingenieros con el concepto según el cual, prevalece el aspecto de resistencia sobre los criterios de regularidad de las estructuras y sobre la percepción del usuario de la estructura vial. Durante mucho tiempo, se dejó a un lado cualquier intento de mejorar los aspectos de la regularidad o lisura de la superficie final, con lo que pasaron desapercibidos grandes problemas que pudieran haber sido minimizados en los procesos constructivos iniciales de los proyectos. Debido a lo anterior, ahora se cuenta en Colombia con

* Artículo de investigación, como producto final del proyecto de investigación del mismo nombre en la línea de Geotecnia Vial y Pavimentos, del grupo de investigación ACI, perteneciente al programa de Ingeniería Civil, de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja.

** Ingeniera civil, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, estudiante especialización en geotecnia vial y pavimentos. Universidad Santo Tomás

*** Ingeniero civil, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, estudiante especialización en geotecnia vial y pavimentos. Universidad Santo Tomás

un gran número de carreteras, que aun recién construidas o recién rehabilitadas, están muy lejos de cumplir los criterios que regulan la calidad de la superficie de las estructuras de pavimentos asfálticos y de hormigón.

Apenas por los años setenta, se vinieron incorporando en forma organizada a la tecnología de las carreteras, los criterios técnicos para garantizar que la superficie vial, genere a los usuarios, confort, seguridad, bajos costos de mantenimiento de los vehículos, menores tiempos de recorrido, menores consumos de combustibles y por esa vía menores impactos negativos al medio ambiente.

Los estudios pertinentes y las definiciones técnicas relacionadas con la superficie vial, se han desarrollado a medida que se avanza en la fabricación de equipos de mayor rendimiento y precisión. Diferentes países vanguardistas han logrado conciliar una medida aceptada por la comunidad internacional, para medir el parámetro denominado Rugosidad o Regularidad, que se venía enfrentando de diversas formas, poco comparables, llegando a establecer un índice denominado Índice de Regularidad Internacional, IRI. El anterior acuerdo permitió desde el año 1982 acelerar el conocimiento del problema, al poder compartir la información de los países interesados y ha facilitado que otros países en vías de desarrollo como Colombia, finalmente introduzcan el parámetro, en la literatura técnica. Así, el Instituto Nacional de Vías, desde el año 2002, incorporó esta medida a nivel de guías técnicas y de especificaciones de construcción, con modificaciones en el año 2007, que es la reglamentación que se encuentra vigente.

La concientización sobre la necesidad de mejorar la geometría de las superficies del pavimento y hacer que esta situación se mantenga en el tiempo de uso de la carretera, es tan reciente, que aún no se exige en todos los proyectos. Lo anterior se debe probablemente al desconocimiento de la especificación o del tema técnico o simplemente por una subvaloración de las características no asociadas a datos de resistencia de los materiales. La situación descrita ocasiona que los interventores, constructores y entidades estatales incumplan la normativa vigente, con inusitada frecuencia.

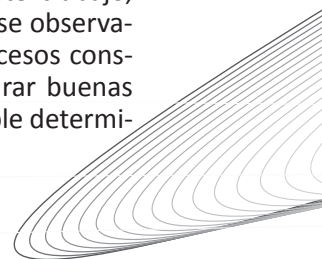
Por el poco conocimiento del tema, tampoco permite que los ingenieros se preparen en el asunto y no se logra aun, que las empresas adapten los equipos tradicionales y los procedimientos de construcción a esta nueva exigencia, que dicho sea de una vez, no es de fácil cumplimiento. Por lo tanto, ni la formación de los técnicos, ni los equipos de producción de mezclas y de colocación de las mismas, ni las especificaciones vigentes, están actualmente adecuadas para la mejora de esta característica fundamental en el desarrollo vial.

En el desarrollo de este trabajo se cumplieron los objetivos propuestos con lo cual se logró establecer como principales causas del problema planteado, entre otros el que los equipos, aún los más modernos, no son todos adecuados o existe deficiencia en su manejo; las producciones de mezcla asfáltica no son congruentes con la capacidad de instalación en la vía; los técnicos en todos los niveles adolecen del conocimiento suficiente y sobre todo adolecen de la conciencia de la gravedad del problema, y las entidades públicas actúan con laxitud frente a esta exigencia fundamental y han simplemente trasladado una normativa a veces imposible de cumplir, generando un círculo vicioso de tolerancia que limita el desarrollo de la red vial del país.

Antioquia, presenta condiciones adicionales para este problema, pues al igual que la región andina, debe enfrentar una topografía agreste que genera carreteras de abundante sinuosidad, con rampas de altas pendientes, en pisos térmicos muy variados, todos ellos aspectos que atentan contra el logro y mantenimiento de un IRI adecuado.

Los principales limitantes que se enfrentaron están relacionados con el bajo registro que se adelanta, por las cuadrillas de construcción de mezclas asfálticas, durante la faena de colocación y la poca disponibilidad de equipos de medición para los comparativos.

Establecer si son adecuadas las especificaciones nacionales actuales para la regularidad superficial, no fue posible en este trabajo, dado que en todos los proyectos se observaron serias deficiencias en los procesos constructivos. Sólo después de asegurar buenas prácticas constructivas sería posible determi-



nar si los valores normativos son alcanzables o no.

Para el desarrollo de este trabajo se hizo seguimiento a diferentes proyectos que se ejecutaban en la zona de influencia, los cuales se describen en detalle, omitiendo el nombre de la vía y del constructor por solicitud expresa de éste.

II. METODOLOGÍA

Para desarrollar el trabajo, se siguieron los pasos convencionales de análisis, que se presentan detalladamente en el proyecto, llegando a concluir que se es necesario plantearse unas preguntas fundamentales que orienten los trabajos a desarrollar. Las preguntas resultantes y que guían el trabajo son las siguientes: ¿Cuál es el impedimento de las personas vinculadas a las obras viales, para alcanzar la especificación del IRI en carreteras y vías urbanas principales, en la región antioqueña y cómo implementar soluciones exitosas económica y técnicamente factibles en el medio y qué características deben tener estas soluciones en el marco político, económico, cultural y profesional? ¿Son adecuadas las especificaciones para la aplicación local? ¿Los equipos y procesos constructivos que se usan actualmente son adecuados? ¿Los procesos y equipos de medida del IRI son adecuados? ¿Los ingenieros de vías, contratistas, interventores y proyectistas, comprenden suficientemente el concepto de la regularidad, los resultados del IRI y sus implicaciones?

Se propone fundamentalmente el uso del método cuantitativo debido a que se utiliza gran cantidad de datos numéricos que representan las características de la superficie vial. Complementariamente se emplea el método descriptivo para facilitar la presentación de los procesos que se llevarán a cabo. Así mismo, se usa el método explicativo con el cual se busca ilustrar los resultados obtenidos de la investigación.

Se seleccionaron algunos proyectos representativos en la región antioqueña, cubriendo el espectro de carreteras nacionales, carreteras secundarias departamentales y vías urbanas, logrando dar cobertura a empresas de gran tamaño, con mayores posibilidades

de equipos y empresas de menor envergadura, pero que por asuntos de la contratación estatal, logran acceder a contratos importantes, donde se invierten recursos cuantiosos. A los proyectos seleccionados, se les hizo seguimiento, para conocer la forma en que fueron considerados, planteados y construidos y conocer los recursos que fueron usados, terminando con las mediciones específicas de la Regularidad Superficial y el posterior cálculo del Índice de regularidad Internacional, IRI. Los principales aspectos analizados en cada proyecto son: condiciones de drenaje, características de la subrasante y de las capas subyacentes de la superficie de rodadura, condiciones de transporte de la mezcla, calidad de la mezcla, proceso de colocación, compactación y proceso constructivo en general y capacitación del personal involucrado en la pavimentación vial.

La revisión de buena parte de la bibliografía existente y la interacción con diversos profesionales y técnicos relacionados con la producción e instalación de las mezclas asfálticas y en general la construcción de carreteras, enriquecieron el estudio, permitiendo establecer las respuestas a las preguntas fundamentales planteadas para desarrollar el trabajo. Con el fin de determinar el grado de conocimiento de los técnicos encargados de los procesos de pavimentación, respecto al IRI, además de las conversaciones directas, se llevaron a cabo encuestas que buscan obtener un indicador sobre la importancia que se da al parámetro en cuestión.

Para el trabajo se utilizó principalmente, el más moderno de los equipos disponibles en el país, como es un perfilómetro de tecnología láser, con el sistema de colección de datos de Romdas, que permite la máxima precisión de los equipos de alto rendimiento, superado únicamente por una medición de nivel y mira, siendo esta última de bajo rendimiento.

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

A. Evaluaciones de campo:

El problema se estudió sobre algunos proyectos viales desarrollados en la zona de Antioquia, en carreteras de primero y segundo orden y en vías urbanas principales, construi-

das en los últimos dos años (2009 y 2010), que cuentan con registros de mediciones y en los proyectos que se construyen en el año 2011. El alcance se limita a los pavimentos flexibles.

Las vías nacionales se representaron con:

Proyecto 1: Tramo de acceso por el costado sur del valle de Aburrá, sobre la ruta 25 de la red vial nacional. El sector estudiado de 1500 metros longitudinales, en una zona con temperatura ambiente promedio de 22°C que tiene una topografía entre plana y ondulada y fue producto del ajuste de una vía existente de dos carriles o una vía en doble calzada, por lo cual se trata de una estructura vial totalmente nueva, construida bajo especificaciones Invías 2007. La estructura de mezcla asfáltica fue colocada en tres capas, constituidas por dos de MSC-1 y una capa superior de MDC-2, sobre la cual se realizaron las mediciones. El proyecto fue construido entre los años 2009 y 2010.

Proyecto 2: Se trata de un tramo de la troncal vial de Occidente, localizado al Norte del departamento de Antioquia. Se estudió un sector de 2000 metros, sometido a mantenimiento, mediante procesos de fresado, reposición y refuerzo en mezcla tipo MDC-2, construida bajo especificación Invías 2002. La topografía de la zona es plana y ligeramente ondulada y discurre paralela al río Cauca, con una temperatura ambiente promedio de 28°C. La intervención fue realizada en los años 2009 y 2010.

Las vías departamentales se representaron con:

Proyecto 3: Se trata de una vía departamental de tránsito bajo, a la cual se le coloca por primera vez una estructura de pavimento con capa de rodadura en pavimento asfáltico. Es una vía de alta montaña de bajas especificaciones geométricas, que hace parte de la antigua troncal Occidente, localizada en la región Sur del departamento de Antioquia, en límites con el departamento de Caldas, con una temperatura promedio de 14°C. Se estudió un sector de 2000 metros, los cuales fueron construidos en el año 2010, como complemento a un proyecto que hacía parte del denominado Plan 2500. El proyecto fue construido bajo especificaciones Invías 2007

Proyecto 4: Se trata de una vía departamental de tránsito medio, la cual se somete a un proceso de rehabilitación, mediante técnicas de reciclado en frío y en vía. Se estudió un sector de 3000 metros, que discurre en una zona de topografía ondulada, con una temperatura promedio de 13°C. La vía se localiza en la zona Norte del departamento de Antioquia y se construyó bajo especificaciones Invías 2007 en los años 2010 y 2011.

Las vías municipales se representan con:

Proyecto 5: Corresponde a un corredor urbano del municipio de Medellín, de tráfico vehicular medio, que fue sometido a intervenciones de mantenimiento sobre su capa de rodadura y se localiza en el sector Sur



oriental de la ciudad, con una temperatura media de 24°C. Se estudió un sector de aproximadamente 1000 metros, sometido a procesos de fresado y reposición de parte de la carpeta existente, durante el año 2010, bajo especificaciones Invias 2002.

El estudio se realizó entre los meses de septiembre de 2010 y enero de 2011, pero se han usado datos de proyectos construidos desde el año 2009 para algunas vías, que permitieron evaluar el comportamiento del parámetro.

B. Criterios para la calificación de los diferentes parámetros que afectan el IRI:

Cada proyecto fue visitado durante su proceso constructivo, con el fin de analizar los diferentes factores que afectan el cumplimiento del IRI, calificando cada uno como aceptable (A), medianamente aceptable (M.A.) o inaceptable (I), de acuerdo a la tabla I.

TABLA I
CRITERIOS PARA CALIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS QUE AFECTAN EL IRI

A Aceptable
 M.A. Medianamente Aceptable
 I Inaceptable

PARÁMETRO		CALIFICACIÓN	CRITERIOS
DRENAJE	Condiciones de drenaje	A	El agua se evacua en un término inferior a dos horas. Se requieren y existen filtros, cunetas o bordillos Geometría apropiada para la evacuación del agua Buen estado de las obras de drenaje Mantenimiento adecuado suficiente
		M.A.	El agua se evacua en un término superior a dos horas e inferior a un día. Se requieren y existen filtros, cunetas o bordillos Geometría apropiada para la evacuación del agua Regular estado de las obras de drenaje Mantenimiento insuficiente
		I	El agua se evacua en un término superior a un día. Se requieren filtros, pero no existen. No existen cunetas o bordillos Geometría inadecuada para la evacuación del agua Mal estado de las obras de drenaje Mantenimiento inexistente
CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE	Tipo de subrasante	A	Tamaño máximo ≤ 75 mm Pasa tamiz No. 10 $\leq 80\%$ en peso. Pasa tamiz No. 200 $\leq 25\%$ en peso Contenido de materia orgánica $\approx 0\%$ Límite líquido $\leq 30\%$ e Índice plástico $\leq 10\%$
		M.A.	Tamaño máximo ≤ 100 mm Pasa tamiz No. 10 $\leq 80\%$ en peso. Pasa tamiz No. 200 $\leq 35\%$ en peso Contenido de materia orgánica $\leq 1\%$ Límite líquido $\leq 40\%$ e Índice plástico $\leq 15\%$
		I	No cumple los criterios de las dos clasificaciones anteriores
	Estabilidad de la subrasante	A	Suelo no expansivo Capacidad de soporte: CBR $\geq 5\%$. Expansión en CBR $\leq 1\%$ Grado de densificación $\geq 95\%$
		M.A.	Suelo no expansivo Capacidad de soporte: $3\% \leq$ CBR $< 5\%$. Expansión en CBR $\leq 2\%$ Grado de densificación $\geq 90\%$
		I	Suelo con potencial expansivo Capacidad de soporte: CBR $< 3\%$. Expansión en CBR $> 2\%$ Grado de densificación $< 90\%$

PARÁMETRO		CALIFICACIÓN	CRITERIOS
CAPAS SUBYACENTES A LA SUPERFICIE DE RODADURA	Condición de soporte para materiales granulares	A	Compactación > 98% Cumple especificaciones como base o subbase granular
		M.A.	Compactación entre el 95% y el 98% Cumple especificaciones como base o subbase granular, como mínimo en cuanto a CBR, plasticidad, equivalente de arena y gradación.
		I	Compactación < 95% No cumple especificaciones como base o subbase granular, como mínimo en cuanto a CBR, plasticidad, equivalente de arena y gradación.
	Condición de soporte para superficies asfálticas	A	No se evidencian deformaciones, ni grietas, ni fallos. No existen parcheos o reparaciones
		M.A.	No se evidencian fallos en general Existen parcheos o reparaciones
		I	Presencia de fallos tipo: agrietamiento, baches, pieles de cocodrilo, deformaciones, exudaciones.
	Uso de topografía	A	Se usa topografía suficiente y el nivel corresponde a un diseño.
		M.A.	Se usa topografía pero ésta no garantiza el nivel de diseño.
		I	No se usa topografía.
CAPAS SUBYACENTES A LA SUPERFICIE DE RODADURA	Regularidad superficial de materiales granulares	A	Se realiza ensayo de IRI y los valores son inferiores a 4 m/km
		M.A.	Se realiza ensayo de IRI y los valores se encuentran entre 4 y 6 m/km
		I	No se realiza ensayo de IRI o se realiza y los valores obtenidos son superiores a 6 m/km
	Regularidad superficial de materiales asfálticos	A	Se realiza ensayo de IRI y los valores son inferiores a 4m/km y es posible colocar la mezcla nueva en por lo menos dos capas. Se realiza ensayo de IRI y los valores son inferiores a 2,5 m/km
		M.A.	Se realiza ensayo de IRI y los valores son inferiores a 5 m/km y es posible colocar la mezcla nueva en por lo menos dos capas Se realiza ensayo de IRI y los valores son inferiores a 3,0 m/km
		I	Se realiza ensayo de IRI y los valores son superiores a 5 m/km. Se realiza ensayo de IRI y los valores son superiores a 3 m/km y se colocará la mezcla nueva en una capa o en un espesor total máximo de 0,10 m o no se realiza ensayo de IRI
VOLQUETAS	Existencia de carpa	A	Carpa completa, en lona, buen estado, sobresale y está amarrada.
		M.A.	Carpa en lona, pero es corta, está suelta o en regular estado.
		I	No existe carpa en lona o está en mal estado.
	Tamaño de la volqueta	A	Capacidad inferior a 10 toneladas
		M.A.	Capacidad entre 10 y 15 toneladas.
		I	Capacidad mayor a 15 toneladas
	Estado general de la volqueta	A	Cumple requisitos de tránsito y ambientales. Equipo de volteo opera correctamente.
		M.A.	Cumple requisitos de tránsito y ambientales. Equipo de volteo opera de forma irregular.
		I	Cumple parcialmente requisitos de tránsito y ambientales. Equipo de volteo no opera correctamente.
	Control de gato	A	Responde a los controles de velocidad del operador.
		M.A.	Responde medianamente a los controles de velocidad del operador.
		I	No responde a los controles de velocidad del operador.
Control de la compuerta	A	La compuerta es fácilmente operable por el conductor y se opera adecuadamente (apertura controlada).	
	M.A.	La compuerta es fácilmente operable por el conductor pero no se opera adecuadamente (apertura total), o Compuerta de difícil operación	
	I	Compuerta de difícil operación que no permite la descarga controlada de la mezcla.	

A Aceptable

M.A. Medianamente Aceptable

I Inaceptable

VOLQUETAS	Segregación en transporte	A	Volqueta cargada en tres porciones. Segregación mínima en los laterales.
		M.A.	Volqueta cargada en tres porciones. Segregación evidente en los laterales.
		I	Volqueta cargada en menos de tres porciones o presenta alta segregación.
CALIDAD DE LA MEZCLA	Características de la mezcla	A	Cumple como mínimo con los siguientes parámetros respecto a la especificación de control: gradación, contenido de asfalto, vacíos, estabilidad, flujo y grado de compactación.
		M.A.	Cumple como mínimo con los siguientes parámetros respecto a la especificación de control: contenido de asfalto inferior al límite superior de la especificación, estabilidad, flujo y grado de compactación.
		I	No cumple parámetros mínimos, respecto a la especificación de control: contenido de asfalto inferior al límite superior de la especificación, estabilidad, flujo y grado de compactación.
TERMINADORA	Estado del equipo	A	Posee controles automáticos en buen estado y son usados Todos los demás sistemas trabajan correctamente.
		M.A.	No posee controles automáticos, no se operan o están en mal estado. Todos los demás sistemas trabajan correctamente.
		I	No existen controles automáticos o están en mal estado. No todos los demás sistemas trabajan adecuadamente.
	Aptitud del operador	A	Fue entrenado por el representante del fabricante y posee certificado que lo acredite. Puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica.
		M.A.	No fue entrenado por el representante del fabricante y no posee certificado que lo acredite. Puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica.
		I	No fue entrenado por el representante del fabricante y no posee certificado que lo acredite. No puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica.
	Descarga de la mezcla a la pavimentadora	A	La terminadora encuentra la volqueta y la empuja durante la descarga. Se sincroniza la descarga con el avance de la terminadora.
		M.A.	La volqueta encuentra la terminadora e inicia la descarga. Se sincroniza la descarga con el avance de la terminadora.
		I	La volqueta encuentra la terminadora e inicia la descarga. No se sincroniza la descarga con el avance de la terminadora.
	Operación del equipo	A	Se usan adecuadamente los controles: Temperatura de la plancha Espesor y nivel Revoluciones del motor Velocidad de avance y de arrastre Control de la vibración de la plancha. El nivel de mezcla de los tornillos siempre está por encima del eje.
		M.A.	Sólo se hacen controles de nivel y espesor. En algunas oportunidades el nivel de la mezcla baja del eje del tornillo.
		I	No se hacen controles o sólo se hace control de espesor. No se controla el nivel de la mezcla con respecto al eje del tornillo.
	Operación de las alas de la tolva	A	Las alas de la tolva se disponen en un ángulo que impide la acumulación de mezcla. Las alas no se operan durante la colocación de la mezcla.
		M.A.	Se permite alguna acumulación de mezcla en las alas de la tolva. Periódicamente se operan las alas de la tolva para remover la mezcla acumulada.
		I	Hay gran acumulación de mezcla en las alas de la tolva. Las alas de la tolva se operan continuamente para remover la mezcla acumulada.

PARÁMETRO	CALIFICACIÓN	CRITERIOS	
TERMINADORA	Velocidad de avance	A	La velocidad de avance garantiza la obtención del espesor adecuado y está sincronizada con la disponibilidad de mezcla en las volquetas, evitando las paradas innecesarias.
		M.A.	La velocidad de avance garantiza la obtención del espesor adecuado pero no está sincronizada con la disponibilidad de mezcla en las volquetas, generando paradas innecesarias.
		I	La velocidad de avance no garantiza la obtención del espesor adecuado y no está sincronizada con la disponibilidad de mezcla en las volquetas, generando paradas innecesarias.
	Relación tamaño volqueta / capacidad de la tolva	A	La volqueta se descarga en máximo tres vaciadas. Es decir, capacidad tolva/Capacidad volqueta $\approx 1/3$
		M.A.	Se requieren más de tres y hasta cinco descargas de la volqueta. Es decir, $1/3 > \text{Capacidad tolva/Capacidad volqueta} \geq 1/5$
		I	Se requieren más de cinco descargas de la volqueta. Es decir, capacidad tolva/Capacidad volqueta $< 1/5$
	Relación peso volqueta-potencia de la terminadora	A	La terminadora tiene suficiente potencia para empujar la volqueta totalmente llena en pendientes hasta del 15%
		M.A.	La terminadora tiene suficiente potencia para empujar la volqueta totalmente llena en pendientes inferiores al 3%
		I	La terminadora no tiene suficiente potencia para empujar la volqueta totalmente llena.
COMPACTACIÓN	Equipo existente	A	Existencia y uso de compactador doble rodillo (tándem) y compactador neumático adecuado al espesor de la capa asfáltica.
		M.A.	Existencia de solo compactador doble rodillo (tándem) o solo compactador neumático adecuado al espesor de la capa asfáltica. Existencia y uso de compactador doble rodillo (tándem) y compactador mixto adecuado al espesor de la capa asfáltica. Existencia y uso de compactador neumático y compactador mixto adecuado al espesor de la capa asfáltica.
		I	Existencia de un solo tipo de compactador, o Uso de compactadores de tamaño inadecuado al espesor de la capa asfáltica.
	Estado del equipo	A	Posee controles automáticos en buen estado para manejo de amplitud, frecuencia y velocidad. Todos los demás sistemas trabajan correctamente.
		M.A.	No posee controles automáticos para manejo de amplitud, frecuencia y velocidad o están en mal estado. Todos los demás sistemas trabajan correctamente.
		I	No existen controles automáticos o están en mal estado, para el manejo de amplitud, frecuencia y velocidad. No todos los demás sistemas trabajan adecuadamente.
	Aptitud del operador	A	El operador fue entrenado por el representante del fabricante y posee certificado que lo acredite. El operador puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica.
		M.A.	El operador no fue entrenado por el representante del fabricante y no posee certificado que lo acredite. El operador puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica.
		I	El operador no fue entrenado por el representante del fabricante y no posee certificado que lo acredite. El operador puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica.
	Operación del equipo	A	Se usan correctamente los controles de amplitud, frecuencia y velocidad, en relación con el espesor de la capa. La rutina de compactación tiene en cuenta la existencia de juntas, peraltes y cualquier otra singularidad que afecte la compactación. Existe un diseño preestablecido para la rutina de compactación teniendo en cuenta la cantidad de franjas, su traslape, las operaciones de aceleración y frenado.

A Aceptable

M.A. Medianamente Aceptable

I Inaceptable

COMPACTACIÓN	Operación del equipo	M.A.	Se usan los controles de amplitud, frecuencia y velocidad, pero no en relación con el espesor de la capa. La rutina de compactación tiene en cuenta la existencia de juntas, peraltes y cualquier otra singularidad que afecte la compactación. Existe un diseño preestablecido para la rutina de compactación teniendo en cuenta la cantidad de franjas, su traslape, las operaciones de aceleración y frenado pero no es aplicado o no existe.	
		I	No se usan los controles de amplitud, frecuencia y velocidad o se usan, pero no en relación con el espesor de la capa. No se cuenta con una rutina de compactación que considere la existencia de juntas, peraltes y cualquier otra singularidad que afecte la compactación o se cuenta con ella pero no se aplica. No existe un diseño preestablecido para la rutina de compactación teniendo en cuenta la cantidad de franjas, su traslape, las operaciones de aceleración y frenado o existe pero no es aplicado.	
	Número de impactos por metro	A	Entre 30 y 40 impactos por metro lineal, para frecuencias cercanas a 2500 impactos por minuto, de forma constante	
		M.A.	Entre 30 y 40 impactos por metro lineal, para frecuencias cercanas a 2500 impactos por minuto, de forma irregular	
		I	No hay control de impactos o difiere de entre 30 y 40 impactos por metro lineal, para frecuencias cercanas a 2500 impactos por minuto, de forma constante	
	Rutina de compactación para el equipo tándem	A	Se sigue la siguiente rutina de compactación: Compactación inicial con rodillos sin vibración hasta que la mezcla admita vibración sin deformarse. Segunda fase de compactación, con rodillo de ataque sin vibración y rodillo trasero vibrando. Tercera fase de compactación, ambos rodillos vibrando. Fase final de compactación, con rodillo de ataque vibrando y rodillo trasero sin vibración.	
		M.A.	Se sigue una rutina de compactación que considera los dos rodillos, pero difiere de la establecida como aceptable. Inicia siempre sin vibración	
		I	No existe una rutina de compactación que considere los dos rodillos. Inicia el proceso de compactación con vibración de uno o los dos rodillos.	
	Control de temperatura	A	Existe un control de temperatura en relación con el espesor de la capa y el comportamiento reológico del asfalto.	
		M.A.	Existe un control de temperatura en relación con el espesor de la capa, pero se desconoce el comportamiento reológico del asfalto.	
		I	No existe control de temperatura en relación con el espesor de la capa y el comportamiento reológico del asfalto.	
	BUGGY	Existencia del equipo	A	Existe equipo de transferencia y se usa adecuadamente.
			M.A.	Existe equipo de transferencia pero su uso es inadecuado.
			I	No existe equipo de transferencia.
	CAPACIDAD DEL PERSONAL	Ingeniero encargado	A	Ingeniero con certificación de un instituto formal en temas relacionados con producción y colocación de mezclas asfálticas. El ingeniero puede demostrar por lo menos ocho años de experiencia específica en pavimentación de vías asfálticas. El ingeniero posee conocimientos específicos en el tema de regularidad superficial y sus implicaciones.
M.A.			El ingeniero puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica en pavimentación de vías asfálticas. El ingeniero posee conocimientos específicos en el tema de regularidad superficial y sus implicaciones.	
I			El ingeniero con menos de cinco años de experiencia específica en pavimentación de vías asfálticas. El ingeniero no posee conocimientos específicos en el tema de regularidad superficial y sus implicaciones.	
Encargado de cuadrilla		A	El encargado fue entrenado por los fabricantes de los diferentes equipos y posee certificado que lo acredite. El encargado puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica en colocación de mezclas asfálticas. El encargado posee conocimientos específicos en el tema de regularidad superficial y sus implicaciones.	

PARÁMETRO	CALIFICACIÓN	CRITERIOS	
CAPACIDAD DEL PERSONAL	Encargado de cuadrilla	M.A.	El encargado no fue entrenado por los fabricantes de los diferentes equipos y no posee certificado que lo acredite. El encargado puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica en colocación de mezclas asfálticas. El encargado posee conocimientos específicos en el tema de regularidad superficial y sus implicaciones.
		I	El encargado no fue entrenado por los fabricantes de los diferentes equipos y no posee certificado que lo acredite. El encargado no puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica en colocación de mezclas asfálticas. El encargado no posee conocimientos específicos en el tema de regularidad superficial y sus implicaciones.
	Personal de cuadrilla	A	El personal de cuadrilla puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica en colocación de mezclas asfálticas. El personal de cuadrilla posee conocimientos específicos en el tema de regularidad superficial y sus implicaciones.
		M.A.	El personal de cuadrilla puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica en colocación de mezclas asfálticas. El personal de cuadrilla posee conocimientos específicos en el tema de regularidad superficial y sus implicaciones.
		I	El personal de cuadrilla puede demostrar por lo menos cinco años de experiencia específica en colocación de mezclas asfálticas. El personal de cuadrilla posee conocimientos específicos en el tema de regularidad superficial y sus implicaciones.
	PROCESO CONSTRUCTIVO	Planeación general del proceso	A
M.A.			Se cuenta con una planeación parcial de la logística y los materiales requeridos para el trabajo diario o aunque se tiene la logística, ésta no se lleva a cabo fielmente.
I			No se cuenta con una planeación de la logística y los materiales requeridos para el trabajo diario.
Referencias topo-gráficas previas		A	Se usa topografía suficiente y el nivel corresponde a un diseño.
		M.A.	Se usa topografía pero ésta no garantiza el nivel de diseño.
		I	No se usa topografía.
Planeación y construcción de juntas		A	Se planea la posición y el tratamiento que se dará a cada junta y se ejecuta.
		M.A.	Se planea la posición y el tratamiento que se dará a cada junta, pero no se ejecuta fielmente.
		I	No se planea la posición y el tratamiento de las juntas.
Manejo del mobiliario (Cajas, sumideros, válvulas, etc.)		A	Se planea la posición y el tratamiento que se dará a cada elemento, incluyendo el retiro provisional.
		M.A.	Se planea la posición y el tratamiento que se dará a cada elemento, pero no se retira provisionalmente.
		I	No se planea la posición y el tratamiento que se dará a cada elemento.
Control de segregación térmica		A	Existe una planificación en los procesos de producción, transporte y colocación de la mezcla asfáltica y se realiza un registro de temperaturas que permitan ajustes durante la instalación.
		M.A.	Únicamente se hacen mediciones en obra y se toman acciones puntuales.
		I	No hay control de segregación térmica
Tiempo de puesta en servicio		A	En el proyecto se permite el enfriamiento total de la mezcla antes de la puesta en servicio y se impide la canalización del tránsito en su etapa inicial.
		M.A.	Se permite el enfriamiento parcial de la mezcla antes de la puesta en servicio y no se impide la canalización del tránsito en su etapa inicial.
		I	Se permite el uso inmediato de la mezcla y no se impide la canalización del tránsito en su etapa inicial.

A Aceptable

M.A. Medianamente Aceptable

I Inaceptable

Para conocer si los técnicos y profesionales vinculados a la construcción de carreteras, poseen la preparación técnica necesaria para planificar, licitar, diseñar, construir y controlar, las actividades relacionadas, se han sostenido abundantes conversaciones con las personas claves en el proceso. Las personas entrevistadas presentan cargos como encargados de producción y control de mezclas en planta, jefes de cuadrillas de colocación, operarios de terminadoras y rodillos compactadores, ingenieros residentes de obras y residentes de interventoría, consultores independientes, ingenieros del sector público, asesores comerciales de las casas de maquinaria, logrando establecer una variedad de conceptos para producir el trabajo y las conclusiones actuales. En algunos casos de significancia fundamental, se han elaborado unas encuestas para tener en forma materializada unos registros sobre estos aspectos, para lo que se aplicó el cuestionario en forma directa y con clara información a los encuestados sobre la finalidad del asunto, ofreciendo la confidencialidad que se requiere en estos casos. La encuesta realizada se presenta en la tabla II.

TABLA II
**ENCUESTA PARA ESTABLECER EL CONOCIMIENTO LOCAL RESPECTO A LA REGULARI-
DAD SUPERFICIAL E IRI**

1. Regularidad superficial es:	
a.	La desviación que presenta la superficie con respecto a una superficie plana con dimensiones características en sentido longitudinal correspondientes a una longitud de onda comprese 0,5 y 50 m.
b.	Es el valor absoluto de la sumatoria de las desviaciones del pavimento con respecto al eje asumido de un vehículo.
c.	Es la medición de las irregularidades de la superficie que afectan el pavimento, relacionadas con la micro y macro textura.
d.	Todas las anteriores
2. El índice de regularidad superficial es:	
a.	Es la sumatoria de subidas y bajadas del perfil longitudinal de un tramo de vía
b.	La sumatoria en valor absoluto de las desviaciones, con respecto a un perfil de referencia
c.	Es la medida de la vibración de un vehículo debido al estado de la superficie del pavimento
d.	Todas las anteriores
3. En qué aspectos afecta la regularidad superficial al usuario	
a.	Velocidad de operación
b.	Seguridad vial
c.	Costos de operación
d.	Confort
e.	Todas las anteriores
4. En qué aspectos afecta la regularidad superficial la política estatal de mantenimiento de vías	
a.	Tiempos de intervención de la estructura
b.	Accidentalidad vial
c.	Costos del transporte de carga
d.	Protección del medio ambiente
e.	Todas las anteriores
5. Según la especificación Invías 2007, el máximo valor de IRI aceptable para una vía nueva de tránsito alto es:	
a.	2,0
b.	2,5
c.	3,0
d.	3,5
6. Según la especificación Invías 2007, el máximo valor de IRI aceptable para una vía con un refuerzo inferior a 10 cm y de tránsito alto es:	
a.	2,0
b.	2,5
c.	3,0
d.	3,5

7. Cuáles de los siguientes equipos permiten determinar la regularidad superficial de una vía:	
a.	Péndulo británico
b.	Grip Tester
c.	Perfilómetro
d.	FWD
e.	Equipo de topografía
f.	Todos los anteriores
8. Cuáles de los siguientes aspectos afectan la regularidad superficial:	
a.	Máquina extendedora
b.	Tipo de mezcla
c.	Estado de la superficie de apoyo
d.	Tipo de vehículos que usan la vía
e.	Calidad de la mezcla colocada
f.	Capacidad técnica de la cuadrilla
g.	Tipo de equipo compactador
h.	Intensidad del tránsito
i.	Procesos constructivos
j.	Trazado geométrico de la vía
k.	Todas las anteriores
9. Qué aspectos cree usted que deben mejorarse, respecto a la tecnología de pavimentos, para alcanzar valores adecuados de IRI.	

Con el fin de clasificar las respuestas, se plantean algunos indicadores para su análisis como se presenta en la tabla III.

TABLA III
INDICADORES PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA

RESPUESTAS ACERTADAS I	INDICADOR
Menor al 60%	Inaceptable
Entre el 60% y el 85% M	Medianamente Aceptable
Mayor al 85%	Aceptable

Fuente: Autores del proyecto, 13-10-2010

IV. RESULTADOS

A. Evaluaciones de campo:

De cada uno de los proyectos evaluados se obtuvieron los datos necesarios y estos se consignaron en las tablas de análisis desarrolladas en este trabajo, con las que se pretendió compilar toda la información pertinente y producir una calificación de la aptitud general del trabajo para alcanzar un valor correcto de IRI.

A continuación se presentan los resultados obtenidos y condensados en la tabla IV.



TABLA IV

APLICACIÓN DE CRITERIOS DE CALIFICACIÓN A LOS PROYECTOS EVALUADOS

PARÁMETRO		PROYECTO 1	PROYECTO 2P	PROYECTO 3P	PROYECTO 4	PROYECTO 5
Tipo de vía		Local	Nacional	Departamental	Departamental	Municipal
Especificaciones de control		2007	2002	2007	2007	2002
Nivel de Tránsito		NT3N	T3	NT1N	T2	NT2
Tipo de construcción		Nueva	Fresado, reposición y refuerzo	Nueva	Rehabilitación con reciclado profundo	Refuerzo
Longitud del tramo, m		1500	2000	2000	3000	1000
Distancia del proyecto a la planta de producción, km		45	30	70	39	30
Singularidades presentes		Puente				cámaras de inspección
Factores medio ambientales	Temperatura media	22°C	28°C	14°C	13°C	24°C
	Topografía	Ondulada	Plana	Montañosa	Ondulada	Plana
Condiciones de la mezcla	Tipo	MDC-2M	DC-2	MDC-2M	DC-2	MDC-2
	Asfalto	Tipo II	60-706	0-70	60-706	0-70
	Espesor, mm.7	57	57	57	56	0
Condiciones de la mezcla	Número de capas asfálticas colocadas	32121				
	Tipo de apoyo de la capa de rodadura	Base asfáltica	Mezcla antigua fresado previo	Base granular	Base asfáltica	Mezcla antigua Parqueo previo
Condiciones de drenaje		AceptableA	ceptable	Medianamente aceptable	AceptableA	ceptable
Características de la subrasante y capas subyacentes						
Características de la subrasante	Tipo de subrasante	Aceptable	Medianamente aceptable	InaceptableA	ceptable	Medianamente aceptable
	Estabilidad de la subrasante	AceptableA	ceptable	Medianamente aceptable	AceptableA	ceptable
Capas subyacentes a la superficie de rodadura	Condición de soporte	Aceptable	Medianamente aceptable	AceptableA	ceptable	Medianamente aceptable
	Uso de topografía	Aceptable	Medianamente aceptable	InaceptableA	ceptable	naceptable
	Regularidad superficial	Inaceptable	naceptable	naceptable	Inaceptable	naceptable
Diseño de la estructura del pavimento						
Diseño de la estructura del pavimento		Aceptable	Medianamente aceptable	Inaceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable
Equipo de colocación						
Terminadora	Estado del equipo	Aceptable	Medianamente aceptable	Inaceptable	Aceptable	Aceptable
	Aptitud del operador	Aceptable	Medianamente aceptable	Inaceptable	Aceptable	Aceptable
	Descarga de mezcla a la pavimentadora	Aceptable	Aceptable	Inaceptable	Aceptable	Aceptable
	Operación del equipo	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Inaceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable
	Operación de las alas de la tolva	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable
	Velocidad de avance	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable
	Relación tamaño volqueta - capacidad tolva	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable
	Relación peso volqueta - potencia de la terminadora	AceptableA	ceptable	naceptableA	ceptableA	ceptable
Compactación	Equipo existente	AceptableA	ceptable	naceptableA	ceptable	Aceptable
	Estado del equipo	AceptableA	ceptable	naceptableA	Aceptable	ceptable
	Aptitud del operador del equipo	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Inaceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable
	Operación del equipo	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Inaceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable

PAR METRO		PROYECTO 1	PROYECTO 2	PROYECTO 3	PROYECTO 4	PROYECTO 5
Compactación	Número de impactos por metro del rodillo	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
	Rutina de compactación para el equipo terminado	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable
	Control de temperatura durante el proceso	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
Buggy	Existencia del equipo	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
Capacitación del personal	Ingeniero encargado	Aceptable	Medianamente aceptable	Inaceptable	Aceptable	Aceptable
	Encargado de cuadrilla	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Inaceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable
	Personal de cuadrilla	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
Proceso Constructivo	Planeación general del proceso	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable
	Referencias topográficas previas	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Inaceptable	Inaceptable	Medianamente aceptable
	Planeación y construcción de juntas	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
	Manejo del mobiliario	-	-	Inaceptable	-	Inaceptable
	Control de segregación térmica	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
	Tiempo de puesta en servicio	Medianamente aceptable	Medianamente aceptable	Inaceptable	Inaceptable	Aceptable
Pista de prueba	Ejecución y aplicación	Medianamente aceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
Mediciones del IRI	Rango de valores de IRI	1,2 a 4,0	1,4 a 4,6	2,5 a 9,1	1,7 a 4,8	2,3 a 4,7
	Máximo valor admisible según especificación INVCEAS	2,5	3,0	3,5	3,0	3,0
	Cumple especificación Invias	NO	NO	NO	NO	NO

Fuente: Autores del proyecto, 18-12-2010

B. Nivel de conocimiento local respecto a la regularidad superficial y al IRI:

En la tabla V se condensa la información obtenida en la encuesta realizada a 20 personas relacionadas directamente con la colocación de mezclas asfálticas.

TABLA V
RESUMEN DE RESULTADOS DE LA ENCUESTA PARA ESTABLECER EL CONOCIMIENTO LOCAL RESPECTO A LA REGULARIDAD SUPERFICIAL E IRI

Pregunta	Respuesta	Respuestas por numeral	Respuestas correctas %	Respuestas incorrectas %	Indicador	Observaciones
1. Regularidad superficial es:	a	3	15	85	No Aceptable	La definición correcta está en la guía Invias 2007. No es muy conocida
	b	3				
	c	9				
	d	5				
2. El índice de regularidad superficial es:	a	4	40	60	No Aceptable	Las definiciones han sido usadas por diversos autores
	b	6				
	c	2				
	d	8				

3. En qué aspectos afecta la regularidad superficial al usuario	a	4	20	80	No Aceptable	Los costos de operación no son entendidos
	b	2				
	c	4				
	d	6				
	e	4				
4. En qué aspectos afecta la regularidad superficial la política estatal de mantenimiento de vías	a	3	35	65	No Aceptable	Tiempos, costos y ambiente no se comprenden
	b	2				
	c	5				
	d	3				
	e	7				
5. Según la especificación Invías 2007, el máximo valor de IRI aceptable para una vía nueva de tránsito alto es:	a	6	40	60	No Aceptable	La normativa 2007 no se conoce suficientemente
	b	8				
	c	4				
	d	2				
6. Según la especificación Invías 2007, el máximo valor de IRI aceptable para una vía con un refuerzo inferior a 10 cm y de tránsito alto es:	a	5	35	65	No Aceptable	La normativa 2007 no se conoce suficientemente
	b	4				
	c	7				
	d	4				
7. Cuáles de los siguientes equipos permiten determinar la regularidad superficial de una vía:	a/c	3	45	55	No aceptable	Se entiende topografía, los demás no son claros
	c/e	9				
	c	7				
	e	1				
8. Cuáles de los siguientes aspectos afectan la regularidad superficial:	k	5	25	75	No Aceptable	Tipo y calidad de mezcla y trazado son poco claros
	otra	15				
9. Qué aspectos cree usted que deben mejorarse, respecto a la tecnología de pavimentos, para alcanzar valores adecuados de IRI.	a	15	-	-	-	Equipos de colocación
	b	4				La especificación vigente
	c	1				Los diseños de espesores

Fuente: Autores del proyecto, 18-12-2010

Las principales ideas adicionales, surgidas de los encuestados se resumen en: 1) No se paga un valor suficiente de la mezcla para mejorar los equipos, capacitar el personal. 2) Se sobrevalora el efecto del IRI, basta con garantizar la estabilidad Marshall y la densidad. 3) Es preferible pavimentar que no pavimentar así sea con un IRI deficiente. 4) No se alcanza el valor de la norma porque es copiado de normas extranjeras y está demasiado exigente. 5) No hay relación directa entre el IRI y los costos de operación, el medio ambiente y la seguridad vial. 6) En las vías urbanas no

aplica el IRI por las singularidades. 7) En las carreteras de montaña no aplica el IRI por los peraltes de curvas y rampas fuertes.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Evaluaciones de campo:

En la tabla VI se presentan los resultados de IRI obtenidos en cada proyecto y se comparan con la especificación correspondiente a cada uno.

TABLA VI
RESUMEN DE RESULTADOS DE IRI COMPARADOS CON LA ESPECIFICACIÓN

RESULTADOS PROYECTO 1				
PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	ESPECIFICACIÓN 2007 -N T3		RESULTADOS IRI	
	CONSTRUCCIÓN NUEVA		m/km	Cumple
40%	IRI < 1,4 m/km		33%N	O
80%	IRI < 2,0 m/km		83%S	I
100%	IRI < 2,5 m/km		93%N	O
Variación del IRI entre 1,2 m/km y 4,0 m/km				

RESULTADOS PROYECTO 2			
PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	ESPECIFICACIÓN 2002	RESULTADOS IRI	
	VÍAS CON REFUERZO \leq 10 cm	m/km	Cumple
50%	IRI < 2,0 m/km	33%N	O
80%	IRI < 2,5 m/km	70%N	O
100%	IRI < 3,0 m/km	90%N	O
Variación del IRI entre 1,4 m/km y 4,6 m/km			
RESULTADOS PROYECTO 3			
PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	ESPECIFICACIÓN 2007 -N T1	RESULTADOS IRI	
	CONSTRUCCIÓN NUEVA	m/km	Cumple
40%	IRI < 2,4 m/km	0%	NO
80%	IRI < 3,0 m/km	25%N	O
100%	IRI < 3,5 m/km	55%N	O
Variación del IRI entre 2,5 m/km y 9,1 m/km			
RESULTADOS PROYECTO 4			
PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	ESPECIFICACIÓN 2007 -N T2	RESULTADOS IRI	
	CONSTRUCCIÓN NUEVA	/km	Cumple
40%	IRI < 1,9 m/km	10%	NO
80%	IRI < 2,5 m/km	65%	NO
100%	IRI < 3,0 m/km	77%N	O
Variación del IRI entre 1,7 m/km y 4,8 m/km			
RESULTADOS PROYECTO 5			
PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	ESPECIFICACIÓN 2002	RESULTADOS IRI	
	VÍAS CON REFUERZO \leq 10 cm	m/km	Cumple
50%	IRI < 2,0 m/km	0%	NO
80%	IRI < 2,5 m/km	60%N	O
100%	IRI < 3,0 m/km	80%N	O
Variación del IRI entre 2,3 m/km y 4,7 m/km			

Fuente: Autores del proyecto, 30-05-2011

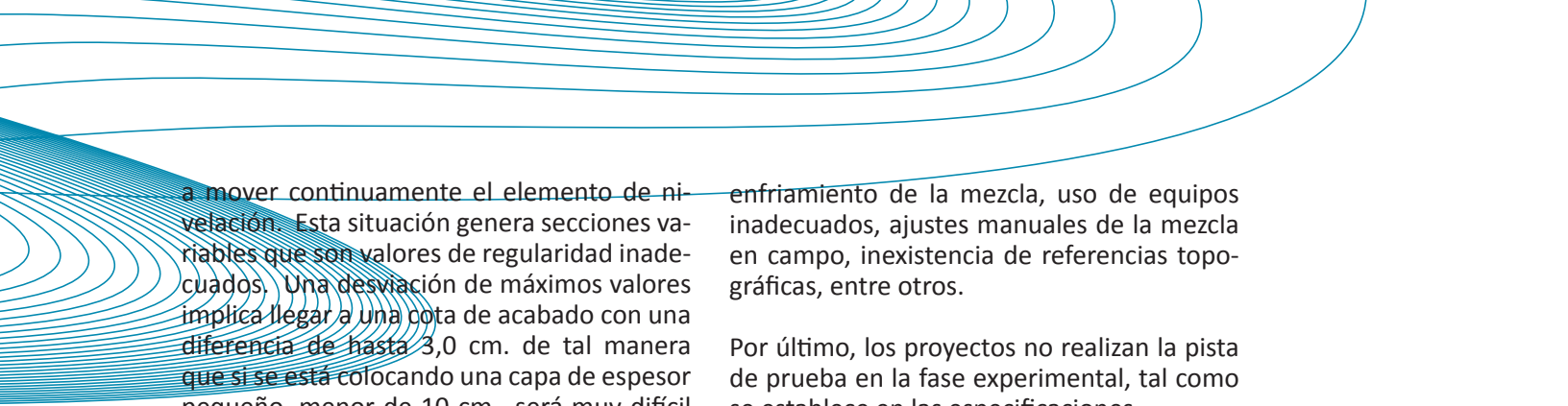
De acuerdo a los resultados presentados en las tablas IV y VI, se analiza que existe una gran correlación entre la envergadura de la carretera que se está analizando y los resultados obtenidos. Por ejemplo, para las vías departamentales en Antioquia, el nivel de cuidado de la regularidad es bajo, aun cuando sea con recursos del Invías como el caso del proyecto 3. La anterior situación se debe principalmente a que existe la idea de muy bajo volumen de tránsito y escasas especificaciones geométricas y de capacidad, por lo que se deduce que no deben cumplirse todos los requisitos, obviando erróneamente aspectos fundamentales como el control de la regularidad. A mayor envergadura de la carretera, mayor cuidado de las entidades y de los constructores respecto a la regularidad, aun sin alcanzar los valores normativos.

Así mismo, existe una alta correlación entre la calidad de los equipos y los resultados alcanzados por el IRI. Cuando los equipos son antiguos y su estado mecánico es deficiente, los valores de IRI son más alejados de los valores normativos. De igual manera, existe plena correlación entre la distancia a la plan-

ta de producción, desde el proyecto y la cantidad de mezcla transportada y los valores de IRI medidos. Son más deficientes cuando la planta está lejos y la discontinuidad en el suministro es evidente.

También, en tramos viales de topografía plana es más fácil alcanzar los valores de IRI normativos, pero aun en estas condiciones no siempre se alcanzan los valores. Del mismo modo, en zonas planas, con buenos equipos, modernos y bien operados, aun con suministros de mezclas adecuados en calidad y volumen, no se alcanzan los valores de IRI normativos. Es evidente que se tiene gran influencia de la forma de compactar las mezclas asfálticas y los aspectos de segregación térmica que se presenten.

Igualmente, las tolerancias de las capas inferiores de la construcción, terminan siendo un impedimento para alcanzar el valor de IRI especificado. Actualmente se cuenta con tolerancias de espesor de subrasante, subbases y bases de por lo menos 1 cm. y algunas tolerancias en carpetas asfálticas, con lo que las tendencias del operario de la terminadora es



a mover continuamente el elemento de nivelación. Esta situación genera secciones variables que son valores de regularidad inadecuados. Una desviación de máximos valores implica llegar a una cota de acabado con una diferencia de hasta 3,0 cm. de tal manera que si se está colocando una capa de espesor pequeño, menor de 10 cm., será muy difícil obtener un valor de regularidad ajustado a la especificación.

De igual forma, la tendencia a colocar capas delgadas con fines presupuestales impide la corrección secuencial que se logra cuando se van colocando capas de mezcla asfáltica sucesivamente. Puede verse que los proyectos de varias capas, logran mejores valores de regularidad superficial, que aquellos de una sola capa, bien sea nueva o de sobrecarpeta.

En el mismo sentido, aunque existe algún grado de capacitación en el personal que opera los equipos de compactación y los conductores de las volquetas, es notoria la falta de aplicación de las buenas prácticas constructivas, en función del rendimiento esperado en la obra, las condiciones climáticas, entre otros factores. Así mismo, la planeación de juntas es un proceso inexistente en todos los proyectos estudiados.

De igual manera, es notoria la falta de planeación en los procesos constructivos de pavimentación vial con mezclas asfálticas, siendo este un gran generador de calificaciones negativas en las evaluaciones realizadas, ya que causan problemas como paradas innecesarias de la terminadora, creación de juntas no planeadas,

enfriamiento de la mezcla, uso de equipos inadecuados, ajustes manuales de la mezcla en campo, inexistencia de referencias topográficas, entre otros.

Por último, los proyectos no realizan la pista de prueba en la fase experimental, tal como se establece en las especificaciones.

B. Nivel de conocimiento local respecto a la regularidad superficial y al IRI:

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla V, se analiza que los resultados de las encuestas muestran con claridad que es necesario aumentar el nivel de capacitación de todo el personal involucrado. Los profesionales deberán formarse integralmente en la construcción de carreteras y las implicaciones de las normativas y los técnicos deberán capacitarse para utilizar adecuadamente los equipos y la logística disponible y dirigir hábilmente a los operarios de los equipos, conductores, etcétera.

Hay deficiencias en definiciones de términos normativos, conocimiento de las especificaciones y normas vigentes, la forma de medir la regularidad y las implicaciones de una buena o mala regularidad superficial. Se requiere ante todo capacitación del personal relacionado con la actividad y luego esto servirá para que se vayan generando procesos de mejora en todos los aspectos mencionados.

También, las empresas de comercialización de los equipos como las terminadoras, los cilindros compactadores y las volquetas, prestan una capacitación insuficiente para lograr que los operarios, entiendan lo relacionado con éste



aspecto fundamental, limitándose a la operación que garantice los volúmenes y cuidados básicos, por lo que la tecnología asociada a esto se está desperdiciando.

Por último, se requiere que el sector académico, ofrezca los cursos de capacitación suficientes para que se genere una base de conocimiento, creciente y auto regeneradora, que mejore todo el ciclo de la producción, colocación y mantenimiento.

VI. CONCLUSIONES

En las condiciones actuales de construcción, ninguno de los proyectos analizados alcanza los valores de IRI especificados según el tipo de vía y su importancia, tal como se presentó en las tablas IV y VI. De aquí se puede concluir que aún las empresas de mayor capacidad no logran los valores normativos.

Con los proyectos analizados, no es posible establecer la real capacidad de cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones usadas como referencia, dado que en todos se observan deficiencias en los procesos constructivos, las cuales deben ser subsanadas previamente para poder así definir la posibilidad de su cumplimiento.

A pesar de que se cuenta con equipos de avanzada tecnología en la industria de la pavimentación, es claro el no aprovechamiento de dichas ventajas, dado que se limita su uso o se usan inadecuadamente, disminuyendo las mejoras que se pueden alcanzar, con respecto a los equipos de menor tecnología. Es posible concluir que la transferencia tecnológica no viene de la mano de la venta de equipos y se genera una situación desventajosa para el gremio.

Se requiere una mayor concientización de todos los personajes involucrados en los procesos de pavimentación vial, desde las entidades estatales, hasta los contratistas e interventores. Es claro que la regularidad superficial no es un factor que se trabaje y proyecte durante el proceso, solo aparece, en algunos casos, como un requisito para la entrega de las vías y finalmente pasa a un segundo plano, sin considerar sus efectos negativos en la durabilidad y confort de la vía.

Se concluye que el sector oficial tendría que liderar un ciclo de entrenamiento y exigencia que mejore en general la situación planteada.

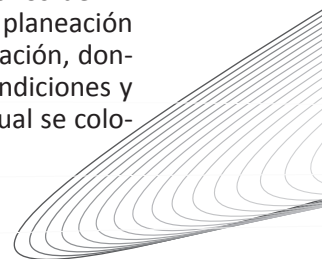
Las entidades públicas no han logrado interpretar a fondo las implicaciones del cumplimiento o incumplimiento de los valores de la regularidad y por lo tanto no exigen suficientemente para generar un ciclo de mejora continua estado-empresa privada, en beneficio de la red vial.

Es evidente la falta de conciencia en el gremio, respecto al parámetro IRI, en cuanto a la calidad de la superficie que subyace la capa a colocar. Ni a nivel de las entidades del estado, interventoría o contratistas, se define con claridad la necesidad de establecer la regularidad de la superficie existente, que afecta sustancialmente el resultado final de la capa que se colocará.

En general, los ingenieros, técnicos y operarios no consideran el parámetro IRI como un criterio de aceptación de la mezcla. En algunos proyectos, aunque se cuenta con suficientes y adecuados equipos de construcción, su uso se orienta principalmente a mejorar rendimientos, alcanzar espesores de diseño y grados de densificación mínimos y a reducir segregación, pero no al mejoramiento de la regularidad superficial. Es claro que se requiere sensibilizar y entrenar las bases operativas para lograr valores adecuados.

Aunque las especificaciones del Inviás incluyen la ejecución de pistas de prueba para las condiciones de cada proyecto, no es un requisito que actualmente se exija en los proyectos viales analizados. Para justificar lo anterior, se argumenta, entre otros, la falta de un protocolo para la ejecución de estas pistas, con lo cual, cada capa de material asfáltico es colocada de acuerdo a la experiencia de los operadores e ingenieros encargados. Se puede concluir que la exigencia para ejecutar las pistas de prueba debe venir del sector público y así lograr la mejora esperada.

Los proyectos viales, como todos los de ingeniería, requieren una detallada planeación diaria de su proceso de pavimentación, donde se garantiza por lo menos: Condiciones y calidad de la superficie sobre la cual se colo-



cará la capa, cantidad de mezcla requerida y calidad para el transporte de la mezcla. Así mismo, se requiere el uso de referencias topográficas de acuerdo a un diseño y garantizar un adecuado estado de los equipos de colocación y compactación. Por otro lado, es indispensable disponer de personal capacitado en todos los niveles, así como realizar actividades de planeación que permitan un diseño de juntas, una pista de prueba y un manejo de tránsito y puesta en servicio de la vía.

VII. RECOMENDACIONES

Las entidades de control del Estado, relacionadas con las obras de carreteras, deberán formar a sus profesionales y técnicos, para que éstos a su vez, generen una creciente exigencia a los contratistas de interventoría y construcción, para exigir con rigurosidad el cumplimiento de las especificaciones que se adopten en cada caso, aplicando los castigos que sean contemplados para el proyecto específico de que se trate.

Las entidades del Estado por obligación y las entidades privadas que deseen controlar el

valor de la regularidad superficial, deberán adecuar las normas generales a cada proyecto, para hacerlas exigentes pero alcanzables, entrando a considerar los aspectos básicos que se han tratado en este trabajo, y cualquiera que a buen juicio del encargado técnico del trabajo, afecte los valores, a la luz de una probada experiencia. Los aspectos que deberán tenerse en cuenta no solo dependen del tipo de tráfico y el espesor y tipo de la intervención, sino de otros como por ejemplo la topografía de la zona, el entorno, el número de capas y el nivel de exigencia que se dio al sustrato de la capa de rodadura.

Las entidades del Estado deben definir la regularidad como uno de los aspectos críticos sobre los que se requiere tomar las decisiones de intervención, para lo que se necesita hacer frecuentes y regulares mediciones en cada proyecto.

Se requiere realizar un análisis en obra, ajustando todos los parámetros mencionados en la tabla I, a la condición Aceptable, con el fin de establecer si es posible cumplir las especificaciones existentes para las condiciones locales o si por el contrario, deben hacerse otras mejoras o ajustes.

REFERENCIAS

Arriaga, M. C., Garnica, P., & Rico, A. (1998). Índice Internacional de Rugosidad en la Red Carretera de México. Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, Qro.

Asphalt Institute (1992). Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente – Serie de Manuales No. 22 (MS-22). Lexington: Autor.

Ministerio de Transporte. (2007). Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras – Artículo 440-07. Bogotá: Autor

Ministerio de Transporte. (2008). Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras, Bogotá: Autor

Montejo, A. (2006). Ingeniería de Pavimentos – Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías (3 ed.). Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Morales, P.M. (2008). Construcción y Conservación de Vías. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Rendón, J.R., & Carrillo, C.A. (2009). Aspectos que Inciden en la Regularidad de una Capa de Rodadura, Construida a Base de Mezcla Asfáltica en Caliente. San Salvador: Ministerio de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y Desarrollo Urbano.

Sayers, M.W., & Karamihas, S.M. (1998). The Little Book of Profiling. Michigan: University of Michigan