



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe Final LM-PI-AT-120-2018

Evaluación de la calidad de la mezcla asfáltica y el desempeño del pavimento del proyecto: Estudios previos, diseño y construcción de la Ruta Nacional N° 257 - Acceso a la terminal de contenedores de Moín

Contratación Directa No. 2016LN-000026-0DE00

Preparado por:
Unidad de Auditoría Técnica
LanammeUCR



Documento generado con base en el Art. 6, inciso b) de la Ley 8114 y lo señalado en el Capít.7, Art. 68 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

San José, Costa Rica

Febrero, 2019



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

1. Informe LM-PI-AT-120-2018	2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: Evaluación de la calidad de la mezcla asfáltica y desempeño del proyecto: Estudios previos, diseño y construcción de la Ruta Nacional N° 257- Acceso a la terminal de contenedores de Moín.	4. Fecha del Informe Febrero, 2019	
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen Este informe es el segundo que se realiza sobre este proyecto, consiste en una evaluación del desempeño de la estructura del pavimento construida, en términos de la Regularidad Superficial (IRI), deflexiones del pavimento y agarre superficial (fricción), los materiales utilizados en la construcción de la estructura de pavimento, las prácticas y procedimientos constructivos, todo lo anterior de conformidad con la normativa actual y las buenas prácticas de la ingeniería. Específicamente, la Regularidad Superficial no evidenció incumplimientos con respecto a las especificaciones del cartel de licitación. Sin embargo, los análisis efectuados a partir de las deflexiones verticales medidas en el pavimento, evidenciaron que la condición de rigidez estructural de las capas de material de base estabilizada es menor que la de diseño, condición que no es aceptable para un pavimento recién construido. El retrocálculo de módulos realizado evidenció una condición similar en cuanto a la rigidez de la capa de base estabilizada, mostrando que los carriles de salida en sentido Terminal de Contenedores-Ruta Nacional No. 32 son los que presentan la condición de rigidez más crítica y por ende el mayor riesgo potencial a presentar deterioros prematuros por fatiga de la capa de mezcla asfáltica. Los resultados de la evaluación de fricción del pavimento evidenciaron tramos con condiciones de fricción predominantemente en la categoría de "Bueno". La calidad de los materiales empleados en la estructura del pavimento, evidenció algunos incumplimientos de parámetros volumétricos. Sin embargo, la Unidad Ejecutora no remitió los resultados de calidad solicitados por esta Auditoría Técnica por lo que durante la ejecución del informe no fue posible establecer comparaciones de resultados ni establecer cuáles fueron los controles de calidad aplicados durante el proceso constructivo del pavimento del proyecto. Además, se observó en los resultados de fatiga de la capa de mezcla asfáltica una tendencia por debajo de los límites inferiores de aceptación comportamiento a fatiga para la mezcla asfáltica colocada en el proyecto. Esta condición puede afectar la durabilidad del pavimento y el costo del proyecto en caso de que los posibles deterioros no sean atendidos preventivamente por la Administración.		
10. Palabras clave PITRA, Construcción, Mezcla asfáltica, deflexiones, regularidad, fricción.	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 62



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Evaluación de la calidad de la mezcla asfáltica y desempeño del proyecto: Estudios previos, diseño y construcción de la Ruta Nacional N° 257, Acceso a la terminal de contenedores de Moín

Departamento encargado del proyecto:

Programa de Obras Estratégicas de Infraestructura Vial, CONAVI

Supervisora del proyecto:

Hasta setiembre 2017 IRRSA

Desde setiembre 2017 Consorcio CACISA-EPTISA

Laboratorio de verificación de calidad:

Hasta setiembre 2017 Vieta

Desde setiembre 2017 CACISA

Empresa contratista: Consorcio del Atlántico, compuesto por las empresas Puentes y Calzadas Infraestructuras SLU y MECO

Laboratorio de control de calidad: ITP. Ingeniería Técnica de Proyectos

Monto original del contrato: US\$ 71 000 000,00

Plazo original de ejecución: El plazo inicial es de 18 meses, con dos hitos una vía de dos carriles con todos los requisitos de seguridad vial, iluminación y medidas ambientales, debidamente diseñada y construida para el 31 de julio de 2017 y la segunda el 30 de noviembre de 2017 según cartel.

Proyecto: Estudios previos, diseño y construcción de la Ruta Nacional N° 257 - Acceso a la terminal de contenedores de Moín)

Coordinador General de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA-LanammeUCR:

Ing. Luís Guillermo Loría Salazar, PhD.

Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica PITRA-LanammeUCR:

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

Auditores:

Ing. Erick Acosta Hernández, Auditor Técnico Líder.

Ing. Mauricio Picado Muñoz, Auditor Técnico Adjunto.

Asesor Legal:

Lic. Miguel Chacón Alvarado

Lic. Owen Gooden Morales

Alcance del informe:

El alcance del estudio consiste en el análisis de la mezcla asfáltica, evaluación del desempeño de la estructura del pavimento construida en términos de Regularidad Superficial (IRI), deflexiones del pavimento y agarre superficial (fricción) y la calidad de mezcla asfáltica colocada.



TABLA DE CONTENIDO

1. FUNDAMENTACIÓN.....	8
2. OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	8
3. objetivos del informe.....	9
3.1 OBJETIVO GENERAL	9
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
4. ALCANCE DEL INFORME	9
5. METODOLOGÍA.....	10
6. DOCUMENTOS DE PREVALENCIA.....	10
7. ANTECEDENTES.....	12
8. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	15
9. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSION PRELIMINAR LM-PI-AT-120B-18.	17
10. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	17
10.1 SOBRE EL DESEMPEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	18
Hallazgo No. 1. El valor de Regularidad Internacional (IRI) obtenido en el proyecto a nivel de la superficie de ruedo final se encuentra por debajo de los límites máximos establecidos por la especificación vigente para el proyecto.....	18
Hallazgo No. 2: Del análisis de deflexiones verticales realizado a la estructura del pavimento, se evidencia un riesgo potencial sobre una menor durabilidad de estructura construida con respecto a la esperada de la vida útil de diseño.	26
Observación No. 1. Existen secciones del pavimento construido en el proyecto con condiciones de fricción superficial deslizantes de diversos grados de severidad.	39
10.2 SOBRE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES.....	51
Hallazgo No. 3. Los resultados de los ensayos realizados a los materiales empleados en la estructura de pavimento evidenciaron incumplimientos en algunos requisitos establecidos por el Manual de especificaciones para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010.	51
11. CONCLUSIONES	59
12. RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS	61



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. VALORES INDIVIDUALES DE IRI, SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TCM (CARRIL EXTERNO) ..	19
FIGURA 2. VALORES INDIVIDUALES DE IRI, SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TCM (CARRIL INTERNO) ...	21
FIGURA 3. VALORES INDIVIDUALES DE IRI, SENTIDO: TCM - RUTA NACIONAL N° 32 (CARRIL EXTERNO) ...	23
FIGURA 4. VALORES INDIVIDUALES DE IRI, SENTIDO: TCM - RUTA NACIONAL N° 32 (CARRIL INTERNO)	25
FIGURA 5. INDICADORES Y ZONAS DEL CUENCO DE DEFLEXIÓN	29
FIGURA 6. RESULTADOS DEL INDICADOR DE CONDICIÓN ESTRUCTURAL DE LA CAPA SUPERFICIAL BLI.....	31
FIGURA 7. RESULTADOS DEL INDICADOR DE CONDICIÓN ESTRUCTURAL DE LAS CAPAS INTERMEDIAS MLI.	32
FIGURA 8. RESULTADOS DEL INDICADOR DE CONDICIÓN ESTRUCTURAL DE LAS CAPAS INTERMEDIAS LLI. .	32
FIGURA 9. RESULTADOS DE EVALUACIÓN DEL INDICADOR DE CONDICIÓN ESTRUCTURAL D0.....	33
FIGURA 10. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN. SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TERMINAL DE CONTENEDORES DE MOÍN. CARRIL EXTERNO. FECHA DE ENSAYO: 06/08/2018.....	42
FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DE LA RUTA SEGÚN SU GN.	43
FIGURA 12. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN. SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TERMINAL DE CONTENEDORES DE MOÍN. CARRIL INTERNO. FECHA DE ENSAYO: 06/08/2018.....	43
FIGURA 13. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DE LA RUTA SEGÚN SU GN.	44
FIGURA 14. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN. SENTIDO: TERMINAL DE CONTENEDORES DE MOÍN - RUTA NACIONAL N° 32. CARRIL EXTERNO. FECHA DE ENSAYO: 06/08/2018.....	46
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DE LA RUTA SEGÚN SU GN.	47
FIGURA 16. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN. SENTIDO: TERMINAL DE CONTENEDORES DE MOÍN - RUTA NACIONAL N° 32. CARRIL INTERNO. FECHA DE ENSAYO: 06/08/2018.....	48
FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN DE LA RUTA SEGÚN SU GN.	49
FIGURA 18. GRÁFICO DE CONTENIDOS DE ASFALTO SOBRE MEZCLA ASFÁLTICA ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	53
FIGURA 19. GRÁFICO DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA PARA LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA.	54
FIGURA 20. RESULTADOS DE ENSAYO A FATIGA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA COLOCADA EN EL PROYECTO. ..	57
FIGURA 21. COMPORTAMIENTO A DEFORMACIÓN PERMANENTE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA COLOCADA EN EL PROYECTO SEGÚN EL ENSAYO APA.	58



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESUMEN DE OFICIOS ENVIADOS A LA ADMINISTRACIÓN DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PRIMER INFORME DE AUDITORÍA	12
TABLA 2. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA ESPECIFICACIÓN DEL CR-2010 PARA LA REGULARIDAD SUPERFICIAL EN CARRIL EXTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TCM.....	20
TABLA 3. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS ESTADÍSTICOS PARA LOS DATOS DE IRI EVALUADOS EN EL CARRIL EXTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TCM.....	20
TABLA 4. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA MEDIA Y DESVIACIÓN DE LOS DATOS DE IRI EVALUADOS EN EL CARRIL EXTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TCM.....	20
TABLA 5. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA ESPECIFICACIÓN DEL CR-2010 PARA LA REGULARIDAD SUPERFICIAL EN CARRIL INTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TCM.....	21
TABLA 6. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS ESTADÍSTICOS PARA LOS DATOS DE IRI EVALUADOS EN EL CARRIL INTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TCM.....	22
TABLA 7. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA MEDIA Y DESVIACIÓN DE LOS DATOS DE IRI EVALUADOS EN EL CARRIL INTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TCM.....	22
TABLA 8. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA ESPECIFICACIÓN DEL CR-2010 PARA LA REGULARIDAD SUPERFICIAL EN CARRIL EXTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: TCM - RUTA NACIONAL N° 32.....	23
TABLA 9. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS ESTADÍSTICOS PARA LOS DATOS DE IRI EVALUADOS EN EL CARRIL EXTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: TCM - RUTA NACIONAL N° 32.....	24
TABLA 10. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA MEDIA Y DESVIACIÓN DE LOS DATOS DE IRI EVALUADOS EN EL CARRIL EXTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: TCM - RUTA NACIONAL N° 32.....	24
TABLA 11. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA ESPECIFICACIÓN DEL CR-2010 PARA LA REGULARIDAD SUPERFICIAL EN CARRIL INTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: TCM - RUTA NACIONAL N° 32.....	25
TABLA 12. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS ESTADÍSTICOS PARA LOS DATOS DE IRI EVALUADOS EN EL CARRIL INTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: TCM - RUTA NACIONAL N° 32.....	26
TABLA 13. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA MEDIA Y DESVIACIÓN DE LOS DATOS IRI EN EL CARRIL INTERNO DE LA RUTA NACIONAL N° 257, SENTIDO: TCM - RUTA NACIONAL N° 32.....	26
TABLA 14. CONFIGURACIÓN DE GEÓFONOS EN EL ENSAYO DE DEFLECTOMETRÍA FWD.....	27
TABLA 15. CLASIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL CONSIDERANDO LOS PARÁMETROS DE CUENCOS DE DEFLEXIÓN PARA VARIOS TIPOS DE PAVIMENTOS CON BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO	30
TABLA 16. ESPESORES DE PAVIMENTO CONSTRUIDOS EN EL PROYECTO.....	30
TABLA 17. IDENTIFICACIÓN DE LOS CARRILES EVALUADOS EN EL INFORME ENSAYO I-0567-18.....	31



TABLA 18. RESULTADOS DE MEDICIÓN DE ESPESORES CARRILES DEL SENTIDO TCM-RUTA 32	34
TABLA 19. ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS DE DISEÑO.....	35
TABLA 20. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO PARA LA CAPA DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.	36
TABLA 21. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO PARA LA CAPA BASE ESTABILIZADA (BE-25).....	36
TABLA 22. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO PARA LA CAPA SUBBASE GRANULAR.....	37
TABLA 23. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO PARA LA SUBRASANTE.	37
TABLA 24. RESUMEN DE RESULTADOS DE MÓDULOS RETROCALCULADOS.	38
TABLA 25. RESPUESTAS DEL PAVIMENTO OBTENIDAS A PARTIR DE LOS MÓDULOS RETRO CALCULADOS. ...	38
TABLA 26. CANTIDAD DE REPETICIONES POR FATIGA PARA LA ESTRUCTURA COLOCADA.....	39
TABLA 27. SECCIONES FUERA DE ANÁLISIS POR CONDICIONES DE ENSAYO.	40
TABLA 28. NIVELES DE ALERTA PARA EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN SEGÚN EL TIPO DE VÍA	40
TABLA 29. CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO SEGÚN EL GRIP NUMBER.	41
TABLA 30. DISTRIBUCIÓN DE LA CONDICIÓN DE LA VÍA SEGÚN SU GN. SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TERMINAL DE CONTENEDORES DE MOÍN. CARRIL EXTERNO.....	41
TABLA 31. DISTRIBUCIÓN DE LA CONDICIÓN DE LA VÍA SEGÚN SU GN. SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TERMINAL DE CONTENEDORES DE MOÍN. CARRIL INTERNO.....	44
TABLA 32. DISTRIBUCIÓN DE LA CONDICIÓN DE LA VÍA SEGÚN SU GN. SENTIDO: TERMINAL DE CONTENEDORES DE MOÍN - RUTA NACIONAL N° 32. CARRIL EXTERNO.....	46
TABLA 33. DISTRIBUCIÓN DE LA CONDICIÓN DE LA VÍA SEGÚN SU GN. SENTIDO: TERMINAL DE CONTENEDORES DE MOÍN - RUTA NACIONAL N° 32. CARRIL INTERNO.	48
TABLA 34. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE PARÁMETROS MASHALL DE LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA.	52
TABLA 35. RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA DE LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA	55
TABLA 36. RESULTADOS DE ENSAYO A FATIGA PARA LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	56
TABLA 37. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DEFORMACIÓN PERMANENTE DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.....	58

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.	16
MAPA 2. CONDICIÓN DE LA RUTA NACIONAL N° 257 SEGÚN SU GRIP NUMBER. SENTIDO: RUTA NACIONAL N° 32 – TERMINAL DE CONTENEDORES DE MOÍN. FECHA DE ENSAYO: 06/08/2018.	45
MAPA 3. CONDICIÓN DE LA RUTA NACIONAL N° 257 SEGÚN SU GRIP NUMBER. SENTIDO: TERMINAL DE CONTENEDORES DE MOÍN - RUTA NACIONAL N° 32. FECHA DE ENSAYO: 06/08/2018.....	50

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 7 de 63
-------------------------	--------------------------------	----------------



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA EN VERSIÓN PRELIMINAR.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA Y DESEMPEÑO DEL PROYECTO: ESTUDIOS PREVIOS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA RUTA NACIONAL Nº 257, ACCESO A LA TERMINAL DE CONTENEDORES DE MOÍN

1. FUNDAMENTACIÓN

La Auditoría Técnica externa a proyectos en ejecución para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley N°8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N°8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Asimismo, el proceso de Auditoría Técnica se fundamenta en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril del 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

“...la fiscalización que realiza la Universidad a través del Laboratorio es una fiscalización externa, que trasciende los contratos de mérito, y por ende, obras específicas, para abarcar la totalidad de la red nacional pavimentada (por ende, proyectos ya finiquitados) y que incluso podría considerarse “superior”, en el sentido en que debe fiscalizar también los laboratorios que realizan análisis de calidad, auditar proyectos en ejecución, entre otros aspectos, evaluar la capacidad estructural y determinar los problemas de vulnerabilidad y riesgos de esa red. Lo cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.” (El subrayado no es del texto original)

2. OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

El propósito de las auditorías técnicas que realiza el LanammeUCR en cumplimiento de las tareas asignadas en la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria”, Ley N° 8114, es el de emitir informes que permitan a las autoridades del país, indicadas en dicha ley, conocer la situación técnica, administrativa y financiera de los proyectos viales durante todas o cada una de las etapas de ejecución: planificación, diseño y especificaciones; cartel y proceso licitatorio; ejecución y finiquito. Asimismo, la finalidad de estas auditorías consiste en que la Administración, de manera oportuna tome decisiones correctivas y 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.

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 8 de 63
-------------------------	--------------------------------	----------------



3. OBJETIVOS DEL INFORME

3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de esta Auditoría Técnica realizada en el proyecto de Estudios, diseño y construcción de la Ruta Nacional N° 257 - Acceso a la terminal de contenedores de Moín, es analizar la calidad de los materiales, específicamente la mezcla asfáltica y el desempeño estructural y funcional del pavimento construido.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Informar oportunamente a la Administración sobre los resultados de ensayo realizados a los materiales del proyecto y los aspectos constructivos que se consideren importantes, mediante el envío de notas-informe.
- Evaluar el cumplimiento de las especificaciones de los materiales utilizados en la producción de la mezcla asfáltica a partir de muestreos puntuales realizados de conformidad con la normativa vigente en el Cartel de Licitación del proyecto.
- Evaluar el desempeño de la mezcla asfáltica en términos de fatiga y deformación permanente a partir de muestreos puntuales realizados de conformidad con la normativa vigente en el Cartel de Licitación del proyecto.
- Evaluar y comparar los datos de los laboratorios de Control y Verificación de Calidad del proyecto.
- Evaluar el desempeño estructural y funcional del pavimento construido en el proyecto por medio de ensayos de deflectometría de impacto, regularidad superficial (IRI) y fricción (Grip-Tester) de conformidad con las buenas prácticas de la Ingeniería de Pavimentos.

4. ALCANCE DEL INFORME

El alcance del estudio que desarrolla esta auditoría consiste en una evaluación de la calidad de la mezcla asfáltica colocada en el proyecto y el desempeño estructural y funcional de la del pavimento construido. El estudio se enfoca en esos dos ámbitos debido a las características de una alta intensidad de tráfico pesado con origen y destino en la terminal de contenedores y las condiciones climáticas de la zona donde se ubica el proyecto con el fin de establecer un marco de referencia general sobre su posible comportamiento a futuro. El periodo de ejecución de esta auditoría es el comprendido entre enero 2017 y julio de 2018, durante la etapa de construcción del pavimento del proyecto.

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 9 de 63
-------------------------	--------------------------------	----------------



Específicamente, se realizó una evaluación estructural mecanicista-empírica del pavimento construido para determinar si las respuestas de la estructura, en términos de esfuerzos y deformaciones, demuestran el comportamiento esperado en el diseño teórico de los espesores de cada capa y sus propiedades físico-mecánicas.

Con respecto a la evaluación de los materiales y la construcción de la estructura del pavimento se evaluó con respecto a la normativa especificada en el Cartel de Licitación del proyecto y sus Enmiendas, el Manual de especificaciones Generales para la Construcción de Caminos Carreteras y Puentes (CR-2010). La evaluación del desempeño de la estructura de pavimento colocada en términos de la regularidad superficial, deflexiones y resistencia al deslizamiento.

5. METODOLOGÍA

La labor que se efectúa en un proceso de auditoría se orienta en recopilar y analizar evidencias durante un periodo definido, así como identificar posibles elementos y aspectos que puedan afectar la calidad del proyecto. La auditoría técnica que realiza el LanammeUCR no puede compararse, ni considerarse como una actividad de control de calidad, la cual, le compete exclusivamente al Contratista como parte de su obligación contractual y que debe ser ejecutada como una labor de carácter rutinario en el proyecto. Tampoco puede conceptualizarse como una labor de verificación de calidad y supervisión que es de entera responsabilidad de la Administración. Es función del MOPT-CONAVI, analizar con las partes involucradas las consecuencias expuestas en los hallazgos incluidos en los informes de la Auditoría Técnica.

Este informe se efectuó siguiendo los procedimientos de Auditoría Técnica, mediante la solicitud y revisión de la documentación del proyecto, así como la verificación en sitio de las condiciones indicadas anteriormente durante el proceso constructivo mediante visitas y ensayos de laboratorio.

Las actividades que fueron desarrolladas por el equipo de Auditoría Técnica consistieron en visitar los diversos frentes de trabajo y hacer una revisión de los documentos contractuales relacionados con el proyecto, así como programar muestreos a los materiales.

6. DOCUMENTOS DE PREVALENCIA

Los trabajos del proyecto deberán ser ejecutados de conformidad con los términos del pliego de condiciones: y acordes con la última versión descrita en el Sección VI Requisitos de las Obras:

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 10 de 63
-------------------------	--------------------------------	-----------------



- Los trabajos del proyecto deberán ser ejecutados de conformidad con los términos del pliego de condiciones y acordes con la última versión descrita en el Sección VI Requisitos de las Obras:
- Ley de Contratación Administrativa (Ley No. 7494 del 02 de mayo de 1995) y sus reformas y su respectivo Reglamento (Decreto Ejecutivo número 33411-H del 27 de setiembre del 2006) y sus reformas.
- El cartel de licitación, incluyendo las Especificaciones Especiales, sus aclaraciones y sus enmiendas.
- La oferta adjudicataria.
- El contrato refrendado por la Gerencia de Gestión de Asuntos Jurídicos del CONAVI.
- “Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes (CR-2010)”.
- El código de construcción.
- La norma “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications”, de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), edición 2010 o última versión.
- El documento titulado: “Tomo de disposiciones para la construcción y conservación vial”, contiene las disposiciones generales emitidas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).
- Estudio de Impacto Ambiental.
- Manual de construcción para caminos, carreteras y puentes (MC-83)
- Lineamientos para el diseño sismo resistente de puentes.
- El Código de Cimentaciones de Costa Rica, edición 2009.
- Las Normas para la colocación de dispositivos de seguridad para protección de obras y demás disposiciones contractuales.
- Manual de diseño estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica (DE-2010) o última versión.
- Reglamento de disposiciones de seguridad para protección de obras, publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 103 del 30 de mayo de 1997, Decreto No. 26041-MOPT.
- Manual técnico de dispositivos de seguridad y control temporal de tránsito para la ejecución de trabajos en las vías”.
- Dispositivos obligatorios de visualización de MOPT.
- Manual Centroamericano de Gestión del Riesgo en Puentes, Edición 2010.
- Manual Centroamericano de Normas para Diseño Geométrico de carreteras (SIECA, 3ª edición – 2011).
- Manual Centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito (SIECA, 2000).



- Pesos y Dimensiones, Decreto N° 33773-MOPT, publicado en La Gaceta N° 99 de fecha 24 de mayo de 2007 y sus modificaciones.
- Componentes de seguridad vial, implementación regulada mediante Decreto Ejecutivo No. 33148 y publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 100 del 25 de mayo del 2006
- Normas y diseños para la construcción de carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Plan Vial.
- Todas aquellas normas ASTM que cuenten con homologación vigente del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) regirán sobre su homologada (ver Anexo K). El contratista tendrá la obligación de verificar y aplicar toda la normativa INTECO aplicable.

7. ANTECEDENTES

Como parte de la auditoría técnica que el LanammeUCR realiza al proyecto y en aras de contribuir al mejoramiento continuo de la gestión de la Administración, durante el desarrollo de este proceso se emitieron varios oficios y notas informe las cuales se citan a continuación:

Tabla 1. Resumen de oficios enviados a la Administración durante la ejecución del primer informe de Auditoría

Oficio/ Nota Informe	Fecha de emisión	Asunto	Oficio respuesta de la Administración
LM-AT-36-2017	01/03/2017	Solicitud de información	*
LM-AT-49-2017	22/03/2017	Colocación de concreto en lluvia y acero de refuerzo	*
LM-AT-52-2017	27/03/2017	Remisión de informe de calidad	No aplica
LM-IC-D-0345-17	08/05/2017	Solicitud al Ministro de acceso a la información de los proyectos del Programa de Obras Estratégicas de Infraestructura Vial	No aplica
LM-AT-69-2017	24/05/2017	Muestreo de concreto	POE-03-2017-0629 y POE-03-2017-0656
LM-AT-76-2017	09/06/2017	Temperaturas del concreto	*
LM-AT-93-2017	05/07/2017	Observaciones de gira	POE-03-2017-0822
LM-AT-98-2017	26/07/2017	Remisión de informes de laboratorio	No aplica
LM-AT-103-2017	09/08/2017	Recordatorio de información	*
LM-AT-108-2017	28/08/2017	Consultas varias diseño de pavimentos	*
LM-AT-110-2017	14/09/2017	Solicitud de información	*
LM-AT-111-2017	14/09/2017	Remisión de informes de laboratorio	No aplica
LM-AT-113-2017	14/09/2017	Consulta legal sobre cambios en la oferta del contratista	*
LM-AT-119-2017	25/09/2017	Solicitud de información	*
LM-IC-D-0826-17	31/10/2017	Solicitud al Ministro de acceso a la información de los proyectos del Programa de Obras Estratégicas de Infraestructura Vial	*

(*) No se recibió respuesta



Tal y como se observa en el Tabla 1, la información del proyecto fue solicitada a la Ingeniería de proyecto en seis ocasiones durante un periodo cinco meses, sin recibir respuesta por parte de la Administración, lo cual dificultó la ejecución de la Auditoría Técnica.

El informe LM-PI-AT-024-17 titulado como “Evaluación de la Calidad de los Materiales y los Procesos Constructivos Proyecto: Estudios Previos, Diseño y Construcción de la Ruta Nacional Nº 257 - Acceso a la Terminal de Contenedores de Moín” fue el primer informe emitido sobre el proyecto. El alcance de esta Auditoría Técnica se centró en la recopilación y análisis de información documental del proyecto sobre los materiales usados, específicamente, el concreto, el acero de refuerzo y mezcla asfáltica con el fin de establecer comparaciones entre los ensayos realizados por el LanammeUCR y la verificación de calidad y determinar el nivel de cumplimiento con las especificaciones establecidas en los documentos contractuales. Adicionalmente, se evaluaron las prácticas constructivas del proyecto durante la construcción del viaducto. La evaluación se realizó en el periodo comprendido entre febrero a octubre 2017.

En dicho informe se determinó los siguiente:

- **Sobre la información requerida por la auditoría técnica:** La Unidad Ejecutora del proyecto no ha respondido en tiempo y forma las solicitudes de información y otras comunicaciones requeridas por el equipo auditor ocasionando atrasos en la ejecución de los análisis realizados por esta entidad fiscalizadora.
- **Sobre la colocación de concreto:** se evidenció que durante las colocaciones de concreto en condiciones de lluvia no se realizaba la debida protección del elemento lo cual puede ocasionar una pérdida de resistencia por el aumento de la relación agua-cemento.
- **Sobre los muestreos de concreto:** se detectó que tanto los laboratorios de control como de verificación de calidad realizaban el muestreo de concreto sin cumplir con lo indicado en la norma ASTM C172 "Práctica Normalizada para muestreo de concreto recién mezclado".
- **Sobre los resultados de las muestras de concreto:** al analizar las muestras de concreto se evidencia que no se cumple con el parámetro de temperatura de colocación para los vanos según los resultados del laboratorio de verificación de calidad y el LanammeUCR. Adicionalmente, se evidenció incumplimiento de la resistencia a la compresión de los alzados del proyecto para las muestras ensayadas por el LanammeUCR.



- **Sobre los resultados de las muestras de acero de refuerzo:** se detectó que, a pesar de existir incumplimientos en los parámetros de altura de corrugación y porcentaje de elongación, al realizar el análisis estadístico se determinó que no se rechaza el lote, para los datos ensayados por el LanammeUCR.
- **Sobre el desempeño de la mezcla asfáltica en caliente:** Se evidenció la aprobación de un cambio en las condiciones ofrecidas en los documentos del proyecto con respecto al método de diseño de mezcla de Superpave a Marshall sin que mediara una valoración técnica del alcance de dicha modificación en el desempeño y durabilidad que requiere la capa de ruedo colocada en el proyecto.

Adicionalmente, durante la ejecución del segundo informe se emitieron los siguientes oficios:

- **Oficio LM-AT-11-18 del 23 de enero de 2018 (recibido el 24-01-2018):** donde se informó a la Unidad Ejecutora sobre los resultados de ensayo de los informes I-0001-18, I-0005-18, I-0012-18 de mezcla asfáltica.
- **Oficio LM-AT-030-18 del 05 de marzo de 2018 (recibido el 15-03-2018):** se informó a la Unidad Ejecutora sobre los deterioros observados en las juntas de expansión del viaducto y las posibles consecuencias que tendría a mediano y largo plazo la operación de un de los tramos con la mitad del espesor de mezcla asfáltica y la acumulación de daño en la estructura final. En este oficio también se solicitó a Unidad Ejecutora la actualización de la información de control de calidad sin que a la fecha se haya recibido comunicación alguna sobre este tema.
- **Oficio LM-AT-45-18 del 20 de marzo de 2018 (recibido 21-03-2018):** se informó a la Administración sobre la longitud de los desagües de los puentes del viaducto, la cual no cumplía con lo solicitado en los documentos del cartel. Posteriormente, durante las giras realizadas se evidenció la aplicación de las medidas correctivas.
- **Oficio LM-PI-020-2018 del 26 de abril de 2018 (recibido 26-04-2018):** se informó a la Administración sobre lo observado por el equipo auditor con respecto a la longitud de las juntas de expansión colocadas en los puentes y paso de agua de escorrentía hacia los apoyos y las consecuencias que se están evidenciando en cuanto al deterioro de los puentes.

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 14 de 63
-------------------------	--------------------------------	-----------------



8. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El objeto del contrato es realizar los estudios previos, el diseño y la construcción de la Ruta Nacional No. 257 (vía de acceso desde la Ruta Nacional No. 32 a la Vía Cantonal de Moín y a la nueva Terminal de Contenedores del Puerto de Moín), a efectos de cumplir con los compromisos adquiridos por el Estado Costarricense al amparo del contrato de concesión de la terminal de contenedores de Moín. El proyecto de diseño y construcción de la Ruta Nacional No. 257 incluye diferentes tramos y tipos de obras, a saber:

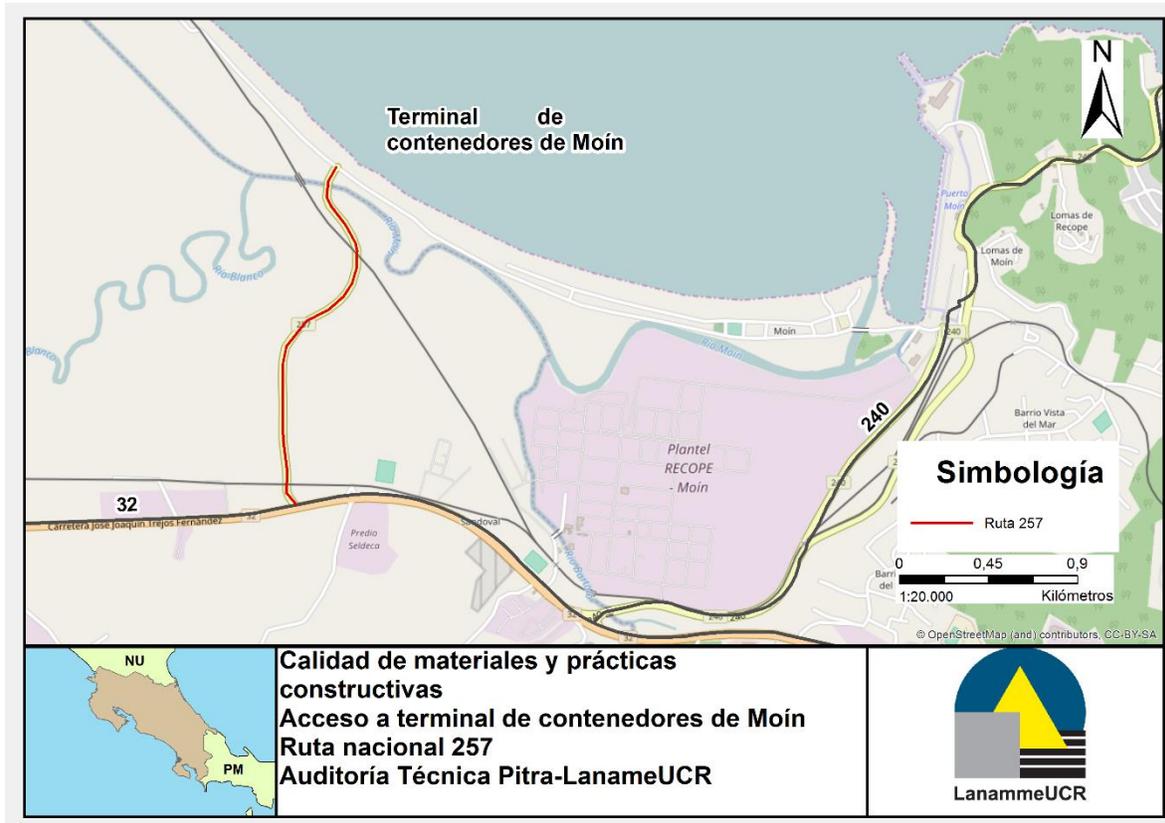
- Diseño y construcción total del tramo comprendido entre la estación 0+000 km a la estación 0+150 km aproximadamente, con una sección transversal de 30 m de coronamiento de la obra de suelos y que alojará a nivel de pavimento terminado, 4 carriles de 3,65 m cada uno, espaldones exteriores de 1,80 m, 1,00 m a cada lado de la vía donde se dispondrá de cuneta y media barrera del tipo F doble alta, dos espaldones interiores de 0,60 m, una barrera separadora New Jersey de 1,40 m de ancho y 2,70 m como mínimo a cada lado, donde se alojarán ciclovia y acera, en cada sentido de circulación.
- Diseño y restitución de la estructura de pavimento existente y construcción de la ampliación requerida del camino de acceso a la nueva Terminal de Contenedores y restitución de la estructura de pavimento requerida, en el tramo entre la estación 0+150 km a la estación 1+100 km (aproximadamente), -corresponde al tramo de ruta actualmente construido a nivel de infraestructura de suelos básica y camino de acceso para la construcción de la obra de la terminal de contenedores- estará compuesto de una sección transversal de 30 m de coronamiento de la obra de suelos y que alojará a nivel de pavimento terminado, 4 carriles de 3,65m cada uno, espaldones exteriores de 1,80 m y cunetas de 1,00 m a cada lado de la vía, dos espaldones interiores de 0,60 m, una barrera separadora del tipo F doble alta y 2,70 m como mínimo a cada lado, donde se alojarán ciclovia y acera, en cada sentido de circulación.
- La transición entre el tramo inicial y el viaducto, deberá tener una pendiente máxima del 4% y un sistema de confinamiento a fin de evitar la disposición de taludes.
- Diseño y construcción de viaducto desde la estación 1+100 km (aproximadamente) a la estación 2+047 km (aproximadamente) que alojará la misma sección transversal descrita anteriormente a nivel de pavimento terminado, respetando los gálibos mínimos sobre la vía férrea, sobre el río Moín y sobre la calle cantonal. La estación 2+047 km es el límite entre la carretera (Ruta Nacional No. 257) y la plataforma de la Terminal de Contenedores de Moín (TCM).
- Diseño y construcción de intersección semaforizada a nivel, en el empalme entre la Ruta Nacional No. 32 y la Ruta Nacional No. 257 (camino de acceso a la nueva

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 15 de 63
-------------------------	--------------------------------	-----------------



Terminal de Contenedores de Moín, indicado en a. y b.) que permita la totalidad de los giros previsible y necesarios para garantizar la seguridad en ambas vías (Rutas Nacionales No. 32 y No. 257). El diseño deberá incluir todos los elementos necesarios para la semaforización, que se implementará en etapa constructiva

- Diseño y construcción de una intersección a desnivel en el cruce de la vía cantonal y la Ruta Nacional No. 257 (camino de acceso a la nueva Terminal de Contenedores de Moín). Dicha intersección se diseñará a la cota de rasante con una media de +4.0m, sobre el nivel medio del mar, incluida en el interior del derecho de vía de la Ruta Nacional No. 257.



Mapa 1. Localización del proyecto.
Fuente: LanammeUCR



9. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSION PRELIMINAR LM-PI-AT-120B-18.

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-010-18 del 22 de enero de 2018 (recibido el 23 de enero de 2019), se envió el presente informe en versión preliminar, identificado como LM-PI-AT-120B-18, a la parte auditada para su análisis y en caso de requerirse se procediera a esclarecer aspectos que no hayan sido considerados durante el proceso de ejecución de la auditoría, para tales efectos se otorgó un plazo de 15 días hábiles, posteriores al recibo de dicho informe, dicho plazo finalizó el 13 de febrero de 2019 sin que se recibiera notificación alguna por parte del auditado.

Adicionalmente, el lunes 28 de enero de 2019 se realizó con auditado la presentación oral de los resultados del informe preliminar en las instalaciones del LanammeUCR con el fin de comentar aspectos relacionados con su contenido. A esta actividad asistieron los siguientes participantes:

Ing. Carlos Jiménez González	Ingeniero de Proyecto – Unidad Ejecutora
Ing. Luis G. Loría Salazar	Coord. General PITRA-LanammeUCR
Ing. Wendy Sequeira Rojas	Coord. Unidad Auditoría Técnica – LanammeUCR
Ing. Mauricio Picado Muñoz	Auditor Técnico - LanammeUCR
Ing. Erick Acosta Hernández	Auditor Técnico - LanammeUCR

Por tanto, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, se procede a emitir el informe LM-PI-AT-120-18 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la Ley No. 8114 y sus reformas.

10. RESULTADOS 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, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de las muestras extraídas y la recolección y análisis de evidencias.

Se entiende como hallazgo de auditoría técnica, un hecho que hace referencia a una normativa, informes anteriores de auditoría técnica, principios, disposiciones y buenas prácticas de ingeniería o bien, hace alusión a otros documentos técnicos y/o legales de orden contractual, ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Por otra parte, una observación de auditoría técnica se fundamenta en normativas o especificaciones que no sean necesariamente de carácter contractual, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería, principios generales, medidas basadas en experiencia internacional o nacional. Además, tienen la misma relevancia técnica que un hallazgo.

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 17 de 63
-------------------------	--------------------------------	-----------------



Las recomendaciones que se derivan del análisis de los hallazgos y observaciones deben ser atendidas planteando acciones correctivas y preventivas, que mitiguen el riesgo potencial de incumplimiento.

10.1 SOBRE EL DESEMPEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Hallazgo No. 1. El valor de Regularidad Internacional (IRI) obtenido en el proyecto a nivel de la superficie de rueda final se encuentra por debajo de los límites máximos establecidos por la especificación vigente para el proyecto.

El día 10 de julio de 2018 el LanammeUCR realizó la medición del perfil longitudinal en los cuatro carriles (dos por sentido) comprendidos entre los estacionamientos 0+000 y 1+200 de la Ruta Nacional N° 257, sección: Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín (TCM), sin considerar el tramo del viaducto. El ensayo se realizó en condiciones adecuadas y sin la presencia de lluvia u otras condiciones ambientales que pudieran afectar las mediciones. Los resultados de la evaluación se presentan en el Informe de Ensayo I-0909-18.

El análisis se realizó con base en lo establecido en la sección 401.16 Control de la regularidad (IRI) en carpetas asfálticas en caliente del CR-2010:

"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 al indicado en la siguiente tabla y ninguno de los valores individuales supera 3,0 m / km".

Porcentaje de m/km	Rodadura e intermedia	
	Tipo de vía	
	Autopistas y Vías concesionadas	Resto de vías
50	<1,5	<1,5
80	<1,8	<2,0
100	<2,0	<2,5

La regularidad superficial, para el tramo a nivel de este proyecto, se evaluó bajo la clasificación de la ruta como "Resto de las vías" según la clasificación del CR-2010. Por lo tanto, el límite superior para los valores individuales de IRI es de 3,0 m/km, mientras que, para las medias fijas, el valor máximo permitido es de 2,5 m/km. Los datos del perfil longitudinal no esencian cambios por lo que en este análisis no se considera el efecto de las singularidades.



- **Sentido: Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín (TCM)**

El 100% de los valores individuales de IRI del carril externo, se encuentra por debajo del límite superior de 3,0 m/km (ver Figura 1). De la misma manera, en la Tabla 2 todos los promedios consecutivos de 10 valores de IRI tienen un valor inferior a 2,5 m/km.

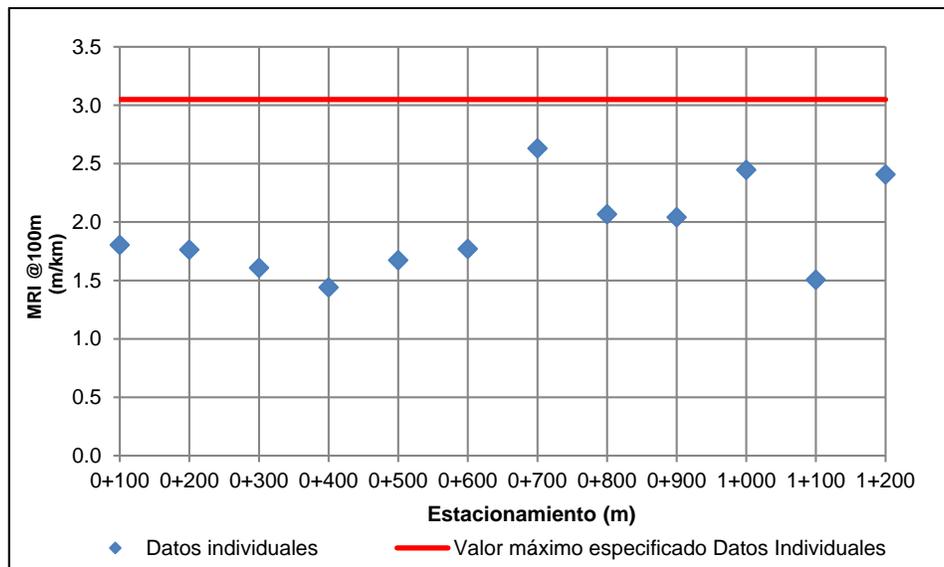


Figura 1. Valores individuales de IRI, sentido: Ruta Nacional N° 32 – TCM (carril externo)
Fuente: LanammeUCR, Informe de Ensayo I-0909-18.



Tabla 2. Análisis del cumplimiento de la especificación del CR-2010 para la regularidad superficial en carril externo de la Ruta Nacional N° 257, sentido: Ruta Nacional N° 32 – TCM

Sentido	Carril	Est Inicial	Est Final	Datos individuales	Media fija
				MRI	Valor
RN32 - TCM	Externo	0+000	0+100	1,8	1,9
		0+100	0+200	1,8	
		0+200	0+300	1,6	
		0+300	0+400	1,4	
		0+400	0+500	1,7	
		0+500	0+600	1,8	
		0+600	0+700	2,6	
		0+700	0+800	2,1	
		0+800	0+900	2,0	
		0+900	1+000	2,4	
		1+000	1+100	1,5	2,0
		1+100	1+200	2,4	

Fuente: LanammeUCR, Informe de Ensayo I-0909-18.

Sin embargo, el tramo presenta incumplimientos en cuanto a los requisitos establecidos en el CR-2010 para la mediana de los valores de IRI (ver Tabla 3). La media de los datos tampoco satisface los requerimientos del CR-2010 (ver Tabla 4).

Tabla 3. Análisis del cumplimiento de los requisitos estadísticos para los datos de IRI evaluados en el carril externo de la Ruta Nacional N° 257, sentido: Ruta Nacional N° 32 – TCM.

Porcentaje de m/km	RN32 - TCM (Carril Interno)	Especificación CR-2010
50	1,9	1,5
80	2,0	2,0
100	2,0	2,5

Fuente: LanammeUCR.

Tabla 4. Análisis del cumplimiento de la media y desviación de los datos de IRI evaluados en el carril externo de la Ruta Nacional N° 257, sentido: Ruta Nacional N° 32 – TCM.

Estadístico	RN32 - TCM (Carril Interno)	Especificación CR-2010
Media	1,94	1,85
Desviación	0,02	0,39

Fuente: LanammeUCR.



Para el carril interno, el 100% de los valores individuales de IRI se encuentra por debajo del límite superior de 3,0 m/km (ver Figura 2). De la misma manera, todos los promedios consecutivos de 10 valores de IRI tienen un valor inferior a 2,5 m/km (ver Tabla 5).

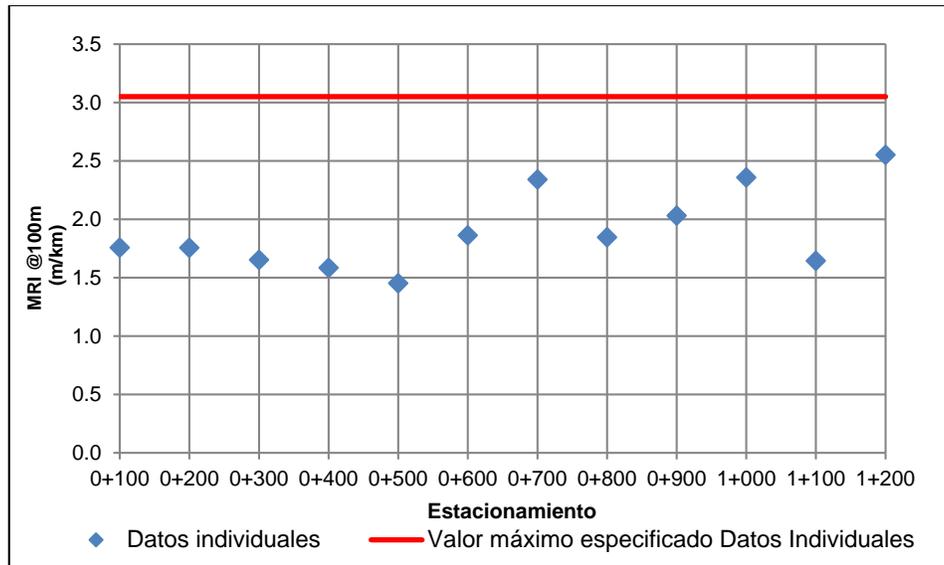


Figura 2. Valores individuales de IRI, sentido: Ruta Nacional N° 32 – TCM (carril interno)
Fuente: LanammeUCR, Informe de Ensayo I-0909-18.

Tabla 5. Análisis del cumplimiento de la especificación del CR-2010 para la regularidad superficial en carril interno de la Ruta Nacional N° 257, sentido: Ruta Nacional N° 32 – TCM

Sentido	Carril	Est Inicial	Est Final	Valores individuales	Media fija
				MRI	Valor
RN32 - TCM	Interno	0+000	0+100	1,8	1,9
		0+100	0+200	1,8	
		0+200	0+300	1,7	
		0+300	0+400	1,6	
		0+400	0+500	1,5	
		0+500	0+600	1,9	
		0+600	0+700	2,3	
		0+700	0+800	1,8	
		0+800	0+900	2,0	
		0+900	1+000	2,4	
		1+000	1+100	1,6	2,1
		1+100	1+200	2,6	



Fuente: LanammeUCR.

Sin embargo, el tramo presenta incumplimientos en cuanto a los requisitos establecidos en el CR-2010 para la mediana y percentil 80 de los valores de IRI (ver Tabla 6). La media de los datos tampoco satisface los requerimientos del CR-2010 (ver Tabla 7).

Tabla 6. Análisis del cumplimiento de los requisitos estadísticos para los datos de IRI evaluados en el carril interno de la Ruta Nacional N° 257, sentido: Ruta Nacional N° 32 – TCM

Porcentaje de m/km	RN32 - TCM (Carril Interno)	Especificación CR-2010
50	2,0	1,5
80	2,1	2,0
100	2,1	2,5

Fuente: LanammeUCR.

Tabla 7. Análisis del cumplimiento de la media y desviación de los datos de IRI evaluados en el carril interno de la Ruta Nacional N° 257, sentido: Ruta Nacional N° 32 – TCM

Estadístico	RN32 - TCM (Carril Interno)	Especificación CR-2010
Media	1,98	1,85
Desviación	0,17	0,39

Fuente: LanammeUCR.

- **Sentido: Terminal de contenedores de Moín (TCM) – Ruta Nacional N° 32**

Para el carril externo, sólo el tramo comprendido entre los estacionamientos 1+100 y 1+200 se encontraba por encima del límite superior de 3,0 m/km (ver Figura 3). Por su parte, todos los promedios consecutivos de 10 valores de IRI tienen un valor inferior a 2,5 m/km (ver Tabla 8).

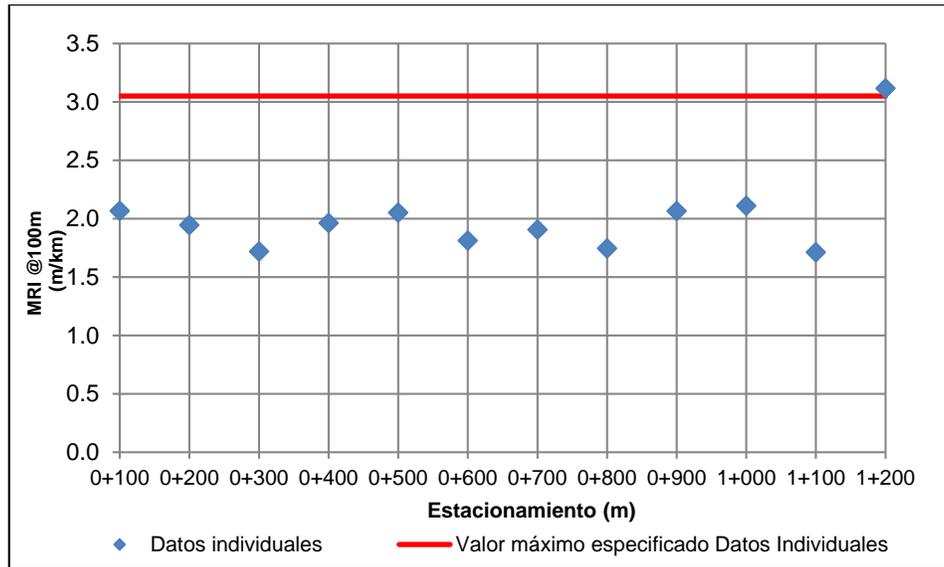


Figura 3. Valores individuales de IRI, sentido: TCM - Ruta Nacional N° 32 (carril externo)
Fuente: LanammeUCR, Informe de Ensayo I-0909-18.

Tabla 8. Análisis del cumplimiento de la especificación del CR-2010 para la regularidad superficial en carril externo de la Ruta Nacional N° 257, sentido: TCM - Ruta Nacional N° 32

Sentido	Carril	Est Inicial	Est Final	Datos individuales	Media fija
				MRI	Valor
TCM - RN32	Externo	0+000	0+100	2,1	1,9
		0+100	0+200	1,9	
		0+200	0+300	1,7	
		0+300	0+400	2,0	
		0+400	0+500	2,1	
		0+500	0+600	1,8	
		0+600	0+700	1,9	
		0+700	0+800	1,7	
		0+800	0+900	2,1	
		0+900	1+000	2,1	
		1+000	1+100	1,7	
	1+100	1+200	3,1	2,4	

Fuente: LanammeUCR



Sin embargo, el tramo presenta incumplimientos en cuanto a los requisitos establecidos en el CR-2010 para la mediana y percentil 80 de los valores de IRI (ver Tabla 9). La media de los datos tampoco satisface los requerimientos del CR-2010 (ver Tabla 10).

Tabla 9. Análisis del cumplimiento de los requisitos estadísticos para los datos de IRI evaluados en el carril externo de la Ruta Nacional N° 257, sentido: TCM - Ruta Nacional N° 32

Porcentaje de m/km	TCM - RN32 (Carril Interno)	Especificación CR-2010
50	2,2	1,5
80	2,3	2,0
100	2,4	2,5

Fuente: LanammeUCR

Tabla 10. Análisis del cumplimiento de la media y desviación de los datos de IRI evaluados en el carril externo de la Ruta Nacional N° 257, sentido: TCM - Ruta Nacional N° 32

Estadístico	TCM - RN32 (Carril Interno)	Especificación CR-2010
Media	2,18	1,85
Desviación	0,34	0,39

Fuente: LanammeUCR

Para el carril interno, el 100% de los valores individuales de IRI se encuentra por debajo del límite superior de 3,0 m/km (ver Figura 4). De la misma manera, todos los promedios consecutivos de 10 valores de IRI tienen un valor inferior a 2,5 m/km (ver Tabla 11).

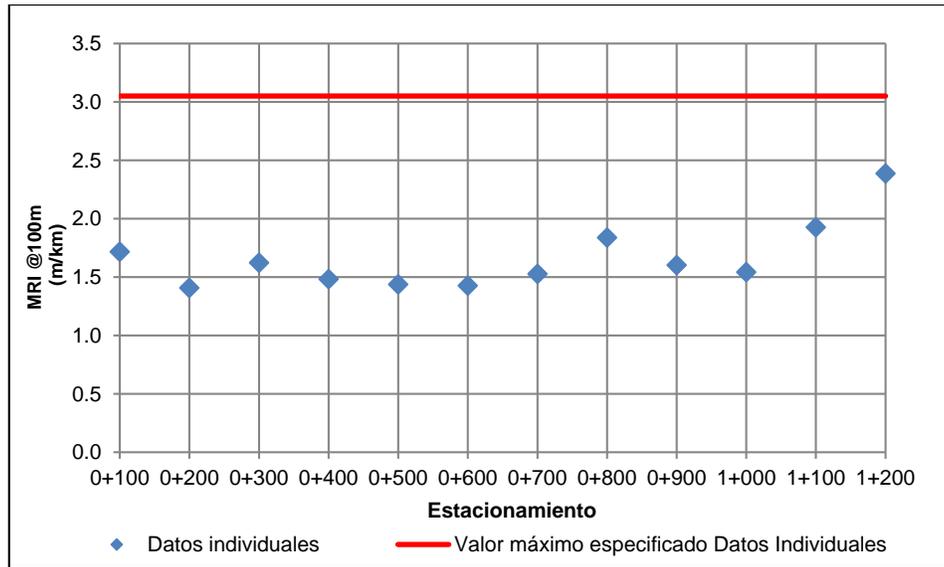


Figura 4. Valores individuales de IRI, sentido: TCM - Ruta Nacional N° 32 (carril interno)
Fuente: LanammeUCR, Informe de Ensayo I-0909-18.

Tabla 11. Análisis del cumplimiento de la especificación del CR-2010 para la regularidad superficial en carril interno de la Ruta Nacional N° 257, sentido: TCM - Ruta Nacional N° 32

Sentido	Carril	Est Inicial	Est Final	Datos individuales		Media fija	
				MRI	Cumplimiento	Valor	Cumplimiento
TCM - RN32	Interno	0+000	0+100	1,7	CUMPLE	1,6	CUMPLE
TCM - RN32	Interno	0+100	0+200	1,4	CUMPLE		
TCM - RN32	Interno	0+200	0+300	1,6	CUMPLE		
TCM - RN32	Interno	0+300	0+400	1,5	CUMPLE		
TCM - RN32	Interno	0+400	0+500	1,4	CUMPLE		
TCM - RN32	Interno	0+500	0+600	1,4	CUMPLE		
TCM - RN32	Interno	0+600	0+700	1,5	CUMPLE		
TCM - RN32	Interno	0+700	0+800	1,8	CUMPLE		
TCM - RN32	Interno	0+800	0+900	1,6	CUMPLE		
TCM - RN32	Interno	0+900	1+000	1,5	CUMPLE		
TCM - RN32	Interno	1+000	1+100	1,9	CUMPLE	2,2	CUMPLE
TCM - RN32	Interno	1+100	1+200	2,4	CUMPLE		

Fuente: LanammeUCR

Sin embargo, el tramo presenta incumplimientos en cuanto a los requisitos establecidos en el CR-2010 para la mediana de los valores de IRI (ver Tabla 12). Tanto la media de los datos como su desviación incumplen los requerimientos del CR-2010 (ver Tabla 13).



Tabla 12. Análisis del cumplimiento de los requisitos estadísticos para los datos de IRI evaluados en el carril interno de la Ruta Nacional N° 257, sentido: TCM - Ruta Nacional N° 32

Porcentaje de m/km	TCM - RN32 (Carril Interno)	Especificación CR-2010
50	1,9	1,5
80	2,0	2,0
100	2,2	2,5

Fuente: LanammeUCR

Tabla 13. Análisis del cumplimiento de la media y desviación de los datos IRI en el carril interno de la Ruta Nacional N° 257, sentido: TCM - Ruta Nacional N° 32

Estadístico	TCM - RN32 (Carril Interno)	Especificación CR-2010
Media	1,86	1,85
Desviación	0,42	0,39

Fuente: LanammeUCR

En conclusión, de conformidad con el análisis realizado, los tramos evaluados cumplen con los requerimientos del CR-2010 para los valores individuales de IRI menores a 3 m/km, a excepción del tramo ubicado entre los estacionamientos 1+100 y 1+200 del carril externo en el sentido TCM - Ruta Nacional N° 32. Los tramos evaluados cumplen con los requisitos establecidos en el CR-2010 para medias fijas puesto que todos los valores obtenidos son menores a 2,5 m/km, a pesar de que la distribución de valores de regularidad evidencia que existen tramos evaluados donde se presentan incumplimientos en cuanto a los requisitos estadísticos para los valores de IRI obtenidos.

Hallazgo No. 2: Del análisis de deflexiones verticales realizado a la estructura del pavimento, se evidencia un riesgo potencial sobre una menor durabilidad de estructura construida con respecto a la esperada de la vida útil de diseño.

El Equipo Auditor realizó una evaluación de deflectometría de impacto (FWD) en el tramo a nivel con la capa final de la mezcla asfáltica colocada, los resultados se reportan en el informe de ensayo son I-0567-18.

El FWD es un equipo que mide el hundimiento o deflexión instantánea que experimenta el pavimento en un punto como respuesta al impacto de una carga aplicada sobre la superficie



del pavimento en dicho punto. Esta carga cae sobre un plato circular cuya área de contacto es similar a la de una llanta de vehículo; las deflexiones obtenidas son registradas por 9 sensores, el primero directamente debajo del plato de carga y los demás dispuestos en un arreglo lineal con una longitud máxima de 180 centímetros como se indica la Tabla 14. Con esta disposición es posible obtener además de la forma del cuenco de deflexiones, el cual se relaciona con aspectos como el espesor y rigidez del pavimento, las características de los materiales de las capas subyacentes y la magnitud de la carga aplicada. (LanammeUCR, 2013)

Tabla 14. Configuración de geófonos en el ensayo de deflectometría FWD

Sensor	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Ubicación (mm)	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800

Fuente. Informe I-0567-18

En este ensayo se especificó que las deflexiones se midieran cada 25 metros de forma alternada entre cada carril, utilizando una carga de 40 kN y 50 kN (3 caídas por carga), a lo largo de una longitud aproximada de 1,2 km por cada carril. En todos los casos, los carriles tuvieron el espesor completo de cada una de las capas que constituyen la estructura.

La estructura del pavimento se evaluó a partir de dos metodologías de análisis con el fin de determinar su capacidad estructural. El primer análisis realizado consiste en una evaluación de las magnitudes de las deflexiones medidas en el pavimento y el segundo de un retrocálculo de módulos para cada capa de la estructura.

- **Análisis de deflexiones**

En el análisis de deflexiones del pavimento se evidencia que las capas de material granular (capa de base) se agrupan con mayor frecuencia en la condición “Regular”, según los criterios utilizados por esta auditoría técnica para evaluar un pavimento recién construido. Esta condición no es aceptable para un pavimento recién construido.

Con el fin de evaluar el estado del resto de capas se realizó un análisis del cuenco de deflexiones por medio de los indicadores SCI (BLI), BDI (MLI) y BCI (LLI) según se definen a continuación:

- **Deflexión máxima (D0):** este parámetro refleja el aporte a nivel de deflexiones de todas las capas del pavimento (Saleh F., 2016b) y la condición de la subrasante; Ullidtz (1987) estipula que entre el 60% y el 80% de la deflexión máxima medida es producto de la deflexión de la subrasante; una deflexión máxima alta suele estar

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 27 de 63
-------------------------	--------------------------------	-----------------



asociada con una subrasante débil o una mala condición de drenaje (Saleh F., 2015).

- **BLI (SCI): indicador de curvatura superficial:** este indicador específicamente caracteriza capacidad estructural tanto de la capa ligada como de la capa de base de la estructura de pavimento entre los 0 mm y 300 mm (Horak,1987).

$$BLI = d_0 - d_1 \quad (1)$$

Donde:

SCI = Indicador de curvatura superficial.

d_0 , d_1 = deflexiones en mm medidas a la distancia 0 y 300 mm respectivamente, desde el centro de aplicación de la carga.

- **MLI (BDI) indicador de daño base (BDI, por sus siglas en inglés):** Este indicador caracteriza la rigidez de la parte intermedia o de inflexión de la estructura de pavimento, contenida entre los 300 mm y 600 mm medidos desde el punto de aplicación de la carga, que generalmente puede corresponder a la **capa de base y subbase** (Horak, 2008; Talvik & Aavik, 2009). Los valores del BDI cambian con el incremento de las repeticiones de ejes equivalentes que pasan sobre la estructura (Horak, 1987). En la ecuación 3 se presenta la expresión para el cálculo de dicho indicador.

$$MLI = d_1 - d_2 \quad (2)$$

Donde:

MLI = Indicador de daño base.

d_1 , d_2 = deflexiones en mm medidas a la distancia 300, 600, mm respectivamente, desde el centro de aplicación de la carga.

- **LLI (BCI) indicador de curvatura base (BCI, por sus siglas en inglés):** encargado de presentar la rigidez de la parte inferior del pavimento, específicamente en la subrasante considerando la diferencia de deflexión entre la distancia de 600 mm y 900mm. Horak (2008), Talvik y Aavik (2009), Kilareski y Anani (1982). En la ecuación 4 se presenta la expresión para el cálculo de dicho indicador)

$$LLI = d_2 - d_3 \quad (3)$$

Donde:

LLI = Indicador de curvatura base.

d_2 , d_3 = deflexiones en mm medidas a la distancia 600 y 900 mm respectivamente, desde el centro de aplicación de la carga.

Horak (2008) propuso una metodología para la evaluación de pavimentos utilizando los parámetros SCI, BDI y BCI, los cuales fueron renombrados como los indicadores de capas base, media e inferior respectivamente (BLI, MLI, LLI). En dicho estudio se realizaron evaluaciones a distintas estructuras de pavimento en Sudáfrica, utilizando esta metodología; y se pudo encontrar que el indicador BLI (SCI) mostró gran correlación con la parte que posee la curvatura positiva cercana al punto de aplicación de carga, esta zona normalmente está contenida entre el punto de aplicación de la carga y una distancia de 300 mm desde ese punto; y se refiere a la capa superficial y la capa base de la estructura de pavimento. La metodología de análisis de la condición estructural considerando parámetros de deflexión propuesta por Horak (2008), fue validada por medio de ensayos acelerados, donde fue posible apreciar la evolución de la condición de las estructuras con base granular a lo largo de toda la vida útil, en el tramo experimental del PaveLab (Laboratorio de Pavimentos) del LanammeUCR, utilizando la fosa de ensayos con humedad incluida. Las zonas mencionadas se muestran en la Figura 5.

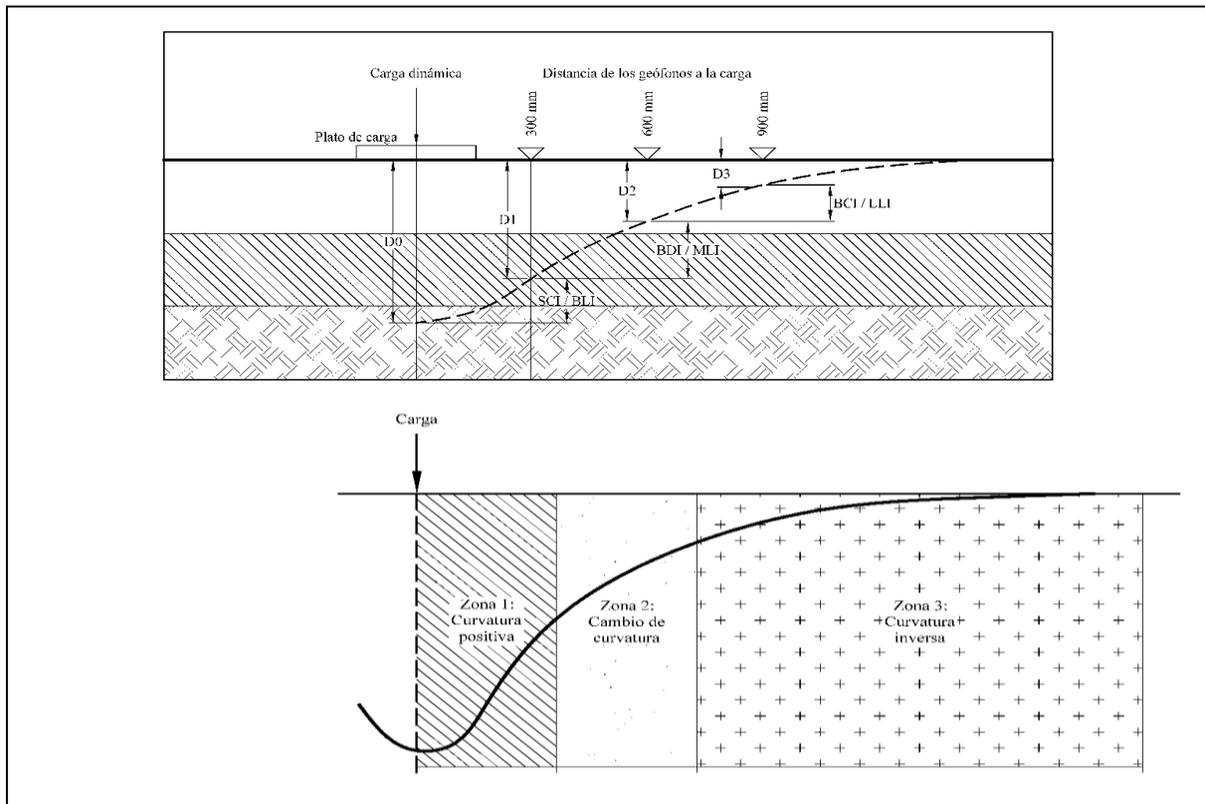


Figura 5. Indicadores y zonas del cuenco de deflexión
(Horak& Emery, 2006; Horak E., 2008)



La Tabla 15 presenta una clasificación de la condición estructural para pavimentos con base granular en función de los indicadores descritos anteriormente, la cual fue presentada por Horak (2008) junto con otras clasificaciones para otros dos tipos de capa de base.

Tabla 15. Clasificación de la condición estructural considerando los parámetros de cuencos de deflexión para varios tipos de pavimentos con base estabilizada con cemento

	Clasificación de condición estructural	Parámetros del cuenco de deflexión			
		D ₀ (μm)	BLI (μm)	MLI (μm)	LLI (μm)
Base estabilizada	Buena	<200	<100	<50	<40
	Regular	200-400	100-300	50-100	40-80
	Severa	>400	>300	>100	>80

Fuente: Horak, 2008

De acuerdo con lo anterior la evaluación de las capas del pavimento en función de los indicadores descritos se muestra de la siguiente forma:

Tabla 16. Espesores de pavimento construidos en el proyecto

Capa	Espesor (mm)	Profundidad (mm)	Indicador
Carpeta asfáltica	130	0 a 130	BLI (0 mm y 300 mm)
Base estabilizada	250	130 a 380	MLI (300 mm y 600 mm)
Subbase granular	300	380 a 680	MLI (300 mm y 600 mm)
Soporte		680 y mayor	LLI (600 mm y 900mm)

Fuente: Unidad Ejecutora BCIE

Consecuentemente, el efecto de la rigidez de la capa de mezcla asfáltica se verá reflejado en el BLI, la rigidez combinada de la capa de mezcla asfáltica y la base estabilizada se observará en BLI y MLI, las capas intermedias de base estabilizada y subbase granular en MLI, y por último la capa de soporte (relleno) en LLI.

Según Camacho-Garita, et al (2018), el principal aporte de los ensayos acelerados y los indicadores estructurales BLI y MLI, es poder apreciar la evolución de la condición de las estructuras a lo largo de toda la vida útil, como se evidenció en un tramo experimental del PaveLab (Laboratorio de Pavimentos) del LanammeUCR, utilizando la fosa de ensayo con humedad incluida.



En las Figuras de la No. 6 a No. 9 se observan los resultados obtenidos para las estructuras de pavimento construidas en el proyecto. Los carriles evaluados se identifican con las letras desde “A” hasta la “D” según se indica en la siguiente tabla:

Tabla 17. Identificación de los carriles evaluados en el Informe ensayo I-0567-18

Sentido	Identificación	Carril
Ruta 32 - Playa Moín	A	Externo
	B	Interno
Playa Moín - Ruta 32	C	Externo
	D	Interno

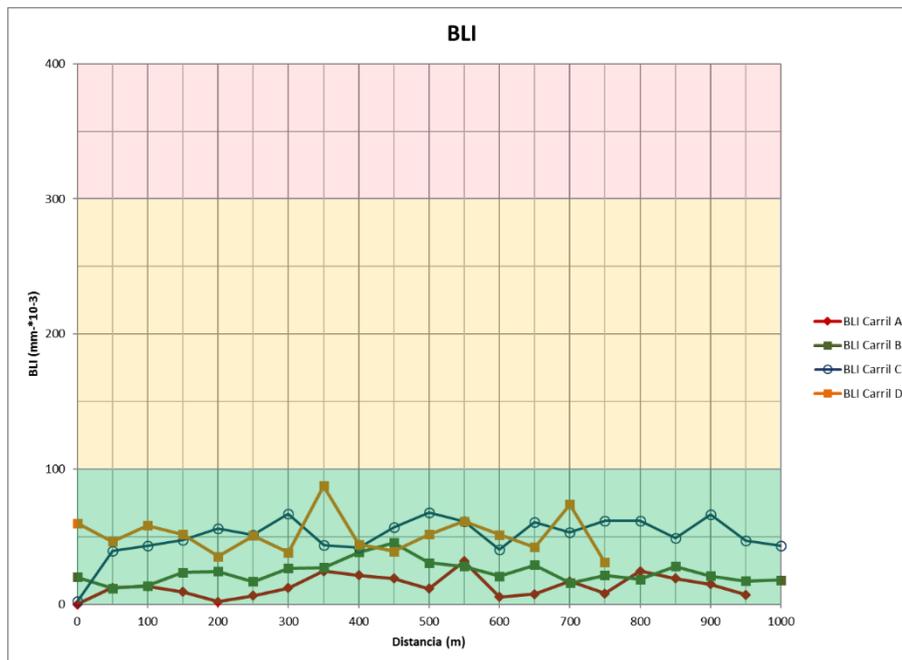


Figura 6. Resultados del indicador de condición estructural de la capa superficial BLI.
Fuente: Informe de ensayo I-567-18, LanammeUCR

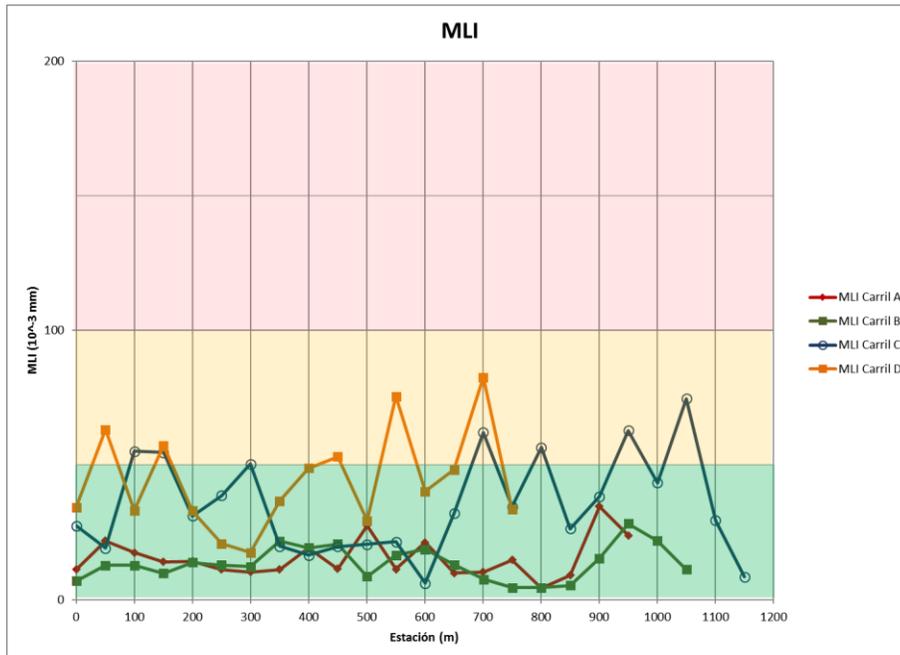


Figura 7. Resultados del indicador de condición estructural de las capas intermedias MLI.
Fuente: Informe de ensayo I-567-18, LanammeUCR.

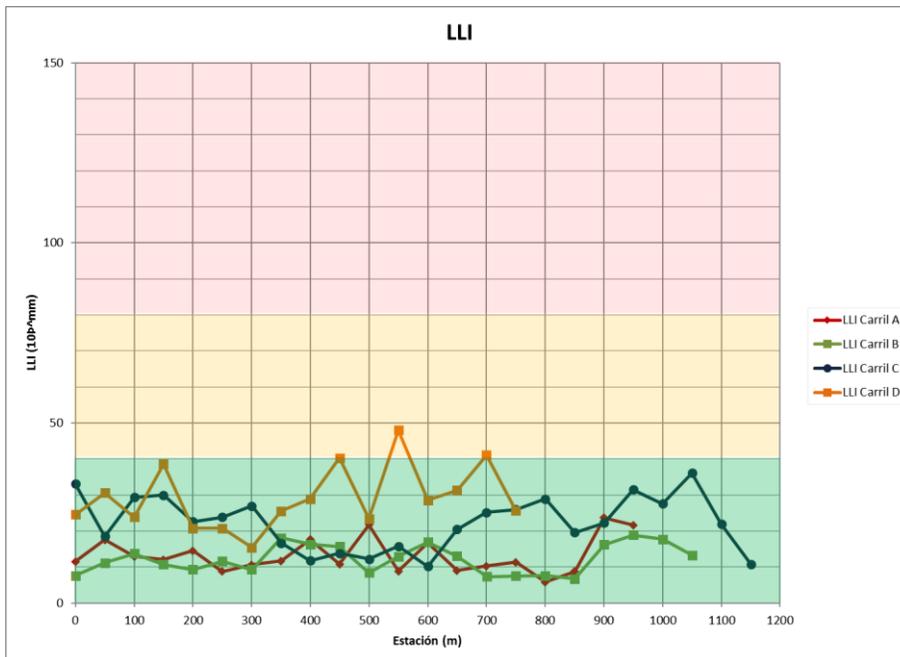


Figura 8. Resultados del indicador de condición estructural de las capas intermedias LLI.
Fuente: Informe de ensayo I-567-18, LanammeUCR

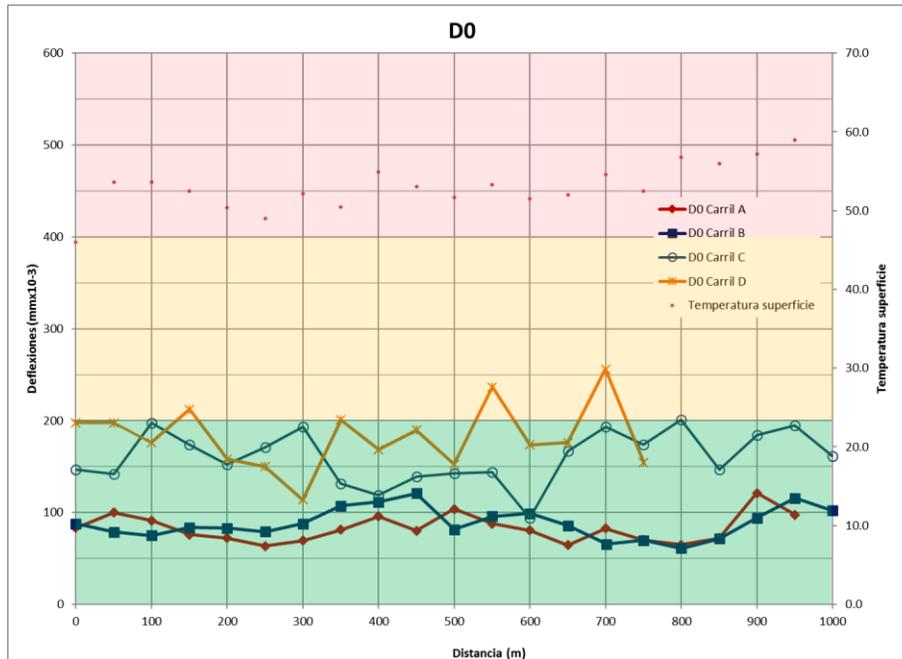


Figura 9. Resultados de evaluación del indicador de condición estructural D0. Fuente: Informe de ensayo I-567-18, LanammeUCR

Se evidencia de los resultados obtenidos que los carriles C y D presentan una rigidez estructural menor en las capas intermedias en comparación con los carriles A y B. Específicamente, la condición se observa en el indicador MLI donde es posible observar que los valores obtenidos en los carriles C y D se concentran entre el límite de la condición “Buena” y la condición “Regular”, que según los resultados obtenidos en la pista de ensayo acelerada del PaveLab para una estructura de similares características no corresponde con el comportamiento de una estructura de pavimento recién construida.

El indicador D0, que evalúa el comportamiento estructural de la totalidad de la estructura, incluyendo las capas de soporte y la subrasante también evidencia este comportamiento en los mismos carriles.

Por medio del oficio LM-AT-030-18 del 5 de marzo de 2018 (recibido el 15-03-2018) se informó a la Unidad Ejecutora lo observado en las visitas del equipo auditor durante el proceso constructivo del tramo a nivel, donde se evidenció en la gira del 21 de febrero de 2018 que la segunda capa de mezcla asfáltica en los carriles C y D no había sido colocada a pesar de que estos ya estaban operando, expuestos al paso del tráfico pesado de los proyectos de construcción de la Ruta No. 257 y de la isla artificial pero con la mitad del espesor de la capa de mezcla asfáltica que debía colocarse, según se evidenció de los núcleos de la capa de mezcla asfáltica extraídos por parte del LanammeUCR (Informe I-



0771-18), según se muestra en la Tabla 18. En ese oficio se alertó sobre el riesgo de que las capas inferiores experimentarán una mayor fatiga como consecuencia de un espesor menor de la capa de rodadura.

Tabla 18. Resultados de medición de espesores carriles del sentido TCM-Ruta 32

Muestra M-538-18		Muestra M-539-18	
No. Espécimen	Altura promedio (mm)	No. Espécimen	Altura promedio (mm)
1	68,00	11	58,45
2	79,88	12	57,40
3	65,23	13	71,63
4	70,95	14	76,81
5	74,47	15	70,91
6	61,21	16	70,65
7	83,28	17	91,57
8	57,40	18	69,89
9	64,52	19	74,54
10	58,16	20	61,33

Fuente: Informe de ensayo I-0771-18, LanammeUCR.

Es importante recordar que por un tema contractual relacionado con la concesión de la terminal de contenedores existía un compromiso para que al menos dos carriles estuvieran en operación en una fecha determinada.

- **Retrocálculo de módulos**

Con el fin de determinar el módulo de las distintas capas construidas en el tramo a nivel se realizó un retrocálculo por medio del modelado de la estructura en el programa ELMOD®. En el software indicado se introduce el concepto de módulo de capa. Dicho concepto se refiere al módulo de un material producto de estudios de campo llevados a cabo con el deflectómetro de impacto (FWD), por lo cual determina de una mejor manera el comportamiento *in situ* de los materiales que componen la estructura de pavimento.

El proceso de retrocálculo de módulos asume una serie de suposiciones que hacen posible el cálculo de las propiedades mecánicas de cada capa. Supuestos como materiales homogéneos, isotrópicos, continuos, con comportamiento dentro del rango elástico - lineal, todo lo anterior bajo el marco de una superficie semi-infinita son básicos de la teoría de multicapa elástica. Sin embargo, en muchas ocasiones estos supuestos distan de una



condición real, por lo que estadísticamente existirá variabilidad en los resultados. En este sentido, para incluir esta variabilidad, en este informe se reportarán los siguientes resultados:

- Módulo promedio
- Desviación estándar
- Percentil 16 del módulo retrocalculado, el cual es el que es considerado como el módulo final característico de cada capa.

La estructura modelada para efectos de retrocálculo y modelación estructural fue tomada del diseño original del pavimento presentado por el contratista y aprobado por la Unidad Ejecutora, según se muestra en la Tabla 19:

Tabla 19. Estructura de pavimentos de diseño.

Capa	Módulo elástico E (psi)	Módulo elástico E (MPa)	Espesor (mm)	Poisson
Carpeta	450000	3100	130	0,35
Base estabilizada	610000	4200	250	0,15
Subbase granular	15000	100	300	0,35
Subrasante	15000	100		0,35

Fuente: Unidad Ejecutora del proyecto.

En la Tabla 20 se muestran resultados del módulo elástico retrocalculado obtenido para la capa de mezcla asfáltica, se evidencia que los módulos retrocalculados promedio para los carriles evaluados tienen un valor de 3907 (MPa) y valor del percentil 16 de 2992 MPa. Al comparar estos valores con respecto al valor supuesto en el diseño de pavimentos, se evidencia que los resultados obtenidos son similares al valor reportado en el diseño de espesores remitido por la Unidad Ejecutora.

Sin embargo, al comparar los valores promedio y el percentil 16 de los módulos retrocalculados de la capa de mezcla asfáltica con el módulo obtenido de los ensayos de módulo dinámico (5023 MPa) calculado para una frecuencia de 4,1 Hz (velocidad de proyecto de 60 km/h) y una temperatura del aire de 26 °C, se observa que los resultados se encuentran por debajo de este valor, hecho que es consecuente con las condiciones de laboratorio que propician la obtención de valores mayores de módulo dinámico.

Los valores obtenidos para cada carril muestran una relativa similitud entre sí y se encuentran cercanos al valor del módulo teórico de diseño, a excepción del módulo retrocalculado promedio del carril A en sentido Ruta 32 –TCM, cuya magnitud (5183 MPa) es comparativamente mayor al valor obtenido en los demás carriles. No obstante, al observar el valor del módulo retrocalculado del percentil 16 de los datos es posible

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 35 de 63
-------------------------	--------------------------------	-----------------



evidenciar que los valores obtenidos para los carriles son similares. Adicionalmente, los carriles C y D, en sentido TCM-Ruta 32, evidencian un módulo elástico menor que los valores de diseño y que los obtenidos en los carriles A y B.

Tabla 20. Resultados de retrocálculo para la capa de mezcla asfáltica convencional.

Módulo elástico E (MPa)	Carril				Promedio todos los carriles (MPa)
	A	B	C	D	
Promedio	5183	3879	3315	3248	3907
Desv. Estándar	1.411	1.234	1.231	1.322	1.299
Valor máximo	9546	5605	5077	5024	6313
Valor mínimo	2514	2684	2478	1612	2322
Percentil 16	3674	3143	2694	2457	2992
Módulo de diseño	3100 (450000 psi)				
Módulo dinámico (*)	5023				

(*) Frecuencia (Hz): 4,1 (60 km/h) y T. aire 26 °C.

Fuente: LanammeUCR.

Los resultados del retrocálculo de módulos de la capa de base estabilizada se muestran en la Tabla 21. Los resultados muestran una tendencia a que el módulo resiliente del material sea menor que el módulo de diseño (4200 MPa). Al comparar este resultado con el módulo resiliente obtenido del modelo de laboratorio de 985 (MPa) para una muestra de base estabilizada obtenida a partir de la reproducción del diseño del material al 1,75 % de cemento con agregados y cemento obtenidos en el proyecto, se concluye que los resultados muestran alta variabilidad entre cada uno de los carriles.

Adicionalmente, se observa una tendencia a que los módulos retrocalculados se encuentren por debajo del módulo de diseño, a excepción del valor obtenido para el carril B de 7618 MPa que excede el valor de diseño. En los carriles C y D del sentido TCM - Ruta 32 se obtuvieron los módulos resilientes más bajos de los carriles evaluados. Es importante recordar que estos carriles entraron en operación con la mitad del espesor de la capa de mezcla asfáltica de diseño mientras se construían los restantes carriles.

Tabla 21. Resultados de retrocálculo para la capa base estabilizada (BE-25).

Módulo elástico E (Mpa)	Carril				Promedio todos los carriles (MPa)
	A	B	C	D	
Promedio	4794	7618	1053	1191	3078
Desv. Estándar	1,774	1,645	1,992	1,935	1,780
Valor máximo	10656	17247	5870	3042	6475
Valor mínimo	1692	2586	333	263	1219
Percentil 16	2702	4632	528	616	1889
Módulo de diseño	4200 (610000 psi)				
Módulo resiliente					



Con respecto a las restantes capas de soporte (subbase granular y subrasante) los valores obtenidos del retrocálculo muestran mayor consistencia en relación con los valores de diseño, según se muestra en las Tablas 22 y 23.

Tabla 22. Resultados de retrocálculo para la capa subbase granular.

Módulo elástico E (MPa)	Carril				Promedio todos los carriles (MPa)
	A	B	C	D	
Promedio	600	403	524	466	498
Desv. Estándar	1,574	1,554	1,956	1,767	1,713
Valor máximo	1459	818	1588	1398	1316
Valor mínimo	303	187	185	127	201
Percentil 16	381	259	268	264	293
Módulo de diseño	100 (15000 psi)				

Tabla 23. Resultados de retrocálculo para la subrasante.

Módulo elástico E (MPa)	Carril				Módulo elástico promedio todos los carriles (MPa)
	A	B	C	D	
Promedio	121	300	198	169	197
Desv. Estándar	1,915	1,211	1,341	1,822	1,572
Valor máximo	263	425	319	389	349
Valor mínimo	29	224	109	56	104
Percentil 16	63	248	148	93	138
Módulo de diseño	100 (15000 psi)				

De los resultados promedio mostrados en la Tabla 24 del retrocálculo de módulos efectuado se evidencia que las estructuras construidas tienen características de rigidez menor a las supuestas durante la definición de los espesores por medio de la metodología AASHTO 93. Específicamente, la capa de base estabilizada con cemento muestra una menor capacidad estructural que la considerada en el diseño de pavimentos. Esta condición también se evidencia en el análisis de deflexiones realizado previamente en los resultados del indicador MLI de rigidez de las capas intermedias. En el caso de las capas de subbase y subrasante los módulos retrocalculados exceden el módulo supuesto en el diseño de pavimentos.



Tabla 24. Resumen de resultados de módulos retrocalculados.

Módulo E (Mpa)	Mezcla asfáltica	Base estabilizada	Subbase	Subrasante
Promedio	3907	3664	532	199
Desv. Estandar	1,30	1,84	1,793	1,560
Valor máximo	6313	9204	1481	349
Valor mínimo	2322	1219	201	104
Percentil 16	2992	2120	301	139
Valor de diseño	3100	4200	100	100
% Diferencia (*)	3%	50%	201%	39%

(*) Calculado con respecto al percentil 16

En la Tabla 25 se muestran las respuestas de la estructura del pavimento obtenida a partir de los módulos retrocalculados y el programa PITRA-PAVE (Versión 2.0.0 de abril 2018) en las unidades de medida que corresponden con los modelos de fatiga.

Tabla 25. Respuestas del pavimento obtenidas a partir de los módulos retro calculados.

Capa	Punto	Ubicación	Profundidad Z		Deformación horizontal E _t (1)	Esfuerzo Vertical S _t (psi)	Deformación vertical E _v (1)	Esfuerzo vertical S _v (psi)	Esfuerzo vertical S _v (MPa)
			(mm)	(in)					
1	A	Punto medio de la CA	65.0	2,56	32,0E-6	43,77	134,2E-6	88,88	0.613
1	B	Fibra inferior de la CA	130.0	5,12	-41,3E-6	15,29	129,7E-6	59,30	0.409
2	C	Punto medio de la base	255.0	10,04	-37,5E-6	-9,04	79,1E-6	20,34	0.140
2	C'		380.0	14,96	-66,7E-6	-24,63	54,4E-6	5,87	0.040
3	D	Punto medio de la subbase	530.1	20,87	-45,4E-6	-0,92	94,2E-6	3,28	0.023
4	E	Fibra superior de la subrasante	681.0	26,81	-44,8E-6	0,43	100,9E-6	2,11	0.015
4	F	6 in de profundidad de la subrasante	832.4	32,77	-33,9E-6	0,33	76,5E-6	1,61	0.011

Fuente: LanammeUCR

Con las respuestas del pavimento de la tabla anterior se evaluaron varios modelos de fatiga tanto para la capa de mezcla asfáltica como para la de base estabilizada, obteniendo los resultados mostrados Tabla 26, donde se observa una tendencia de la estructura para



presentar agrietamiento por fatiga de arriba hacia abajo en una cantidad prematura de ejes equivalentes.

Tabla 26. Cantidad de repeticiones por fatiga (Nf) para la estructura colocada.

Capa	ESALs diseño	NCHRP 10%	NCHRP 45%	MEPDG abajo-arriba	MEPDG arriba-abajo	DVP5170-07
Mezcla asfáltica	49 974 337	230 709 189	317 734 880	2 051 762 323	3 067 167	9,7E+11
Capa	ESALs diseño	Nf [Huang,1993]	Nf [NCHRP,2007]	Nf [Scullion,2007]	Nf [PCA]	
Base estabilizada	49 974 337	6,98E+14	7,07E+17	1,54E+18	1,85E+17	

En conclusión, existe un riesgo potencial de que la estructura de pavimentos construida en el proyecto presente deterioros prematuros (agrietamiento) en la capa de rueda como consecuencia de la una menor rigidez estructural de la capa de base estabilizada colocada en el proyecto. Según el análisis estructural efectuado al pavimento este riesgo es mayor en los carriles construidos en el sentido TCM-Ruta 32. Este tipo de deterioro tiene consecuencias significativas debido a que permite el ingreso de humedad a las distintas capas inferiores acelerando su deterioro.

Observación No. 1. Existen secciones del pavimento construido en el proyecto con condiciones de fricción superficial deslizantes de diversos grados de severidad.

El día 6 de agosto de 2018 (época lluviosa) el LanammeUCR realizó la medición del coeficiente de fricción en los cuatro carriles (dos por sentido) comprendidos entre los estacionamientos 0+000 y 2+090 de la Ruta Nacional N° 257 – Acceso a la terminal de contenedores de Moín. En la estación 0+000 se encuentra en el cruce de la Ruta Nacional N° 257 con la Ruta Nacional N° 32. Es importante recordar que entre la estación 1+100 y la estación 2+000, aproximadamente, se ubica el viaducto

La medición se realizó cada 5m mediante el equipo Grip Tester del LanammeUCR, a una velocidad constante de 50 km/h y con un espesor de película de agua de 0,25 mm. Los tramos eliminados del análisis se resumen en la Tabla 27 debido a que en ellos no se dieron



las condiciones de velocidad y flujo de agua que requiere la norma de ensayo para la obtención de datos válidos.

Tabla 27. Secciones fuera de análisis por condiciones de ensayo.

Sentido	Carril	Estación		Condición
		Inicial	Final	
Ruta Nacional 32 – Terminal de contenedores de Moín (TCM)	Externo	0+000	0+010	Baja velocidad
		2+060	2+095	Baja velocidad
Terminal de contenedores de Moín (TCM) – Ruta Nacional 32	Interno	0+000	0+010	Baja velocidad
	Externo	0+000	0+045	Baja velocidad
		0+000	0+055	Baja velocidad
		2+030	2+045	Baja velocidad

Fuente: Informe I-1021-18, LanammeUCR.

En la Tabla 28, se establecen los niveles de alerta, según el tipo de vía, para el valor mínimo de coeficiente de fricción de acuerdo al fabricante del equipo, Griptester465, Norma: IT-LC-02 (BS:7941-2) Determinación del coeficiente de fricción "Grip Number". Por las características del proyecto se utilizó la clasificación de autopista, por lo que el límite inferior para el coeficiente de fricción en este proyecto es de 0,48.

Tabla 28. Niveles de alerta para el coeficiente de fricción según el tipo de vía

Nombre	Nivel	Valor mínimo
Autopista	A (50)	0,48
Doble calzada	B (50)	0,48

Adicionalmente, para clasificar la condición del rozamiento de esta ruta, se utilizó el rango de clasificación empleado por el LanammeUCR en las evaluaciones bienales de la Red Vial Nacional (Barrantes Jiménez, Sanabria Sandino & Loría Salazar, 2013). Dicha clasificación determina la condición del pavimento según el valor de Grip Number (GN) que arroja el Grip Tester (ver Tabla 29). Dado que la fricción entre la llanta y el pavimento garantiza el agarre del vehículo, es posible determinar la probabilidad de accidentes y el riesgo de accidentabilidad de la superficie de la calzada según la condición friccionante de esta.



Tabla 29. Clasificación internacional del pavimento según el Grip Number.

GN	Condición	Nivel			Tipo de pavimento característico
		Deslizamiento	Probabilidad de accidentes	Riesgo medio de accidentabilidad ¹	
< 0,50	Malo	Muy deslizante	Muy alta probabilidad	Mayor a 20	Pavimento flexible compuesto de agregado pulimentable ej: calizo
0,50 – 0,60	Regular	Deslizante	Alta probabilidad	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y pérdida de textura
0,60 – 0,78	Bueno	Poco deslizante	Moderada probabilidad	10 a 16	Pavimento flexible y rígido con buena textura
> 0,78	Muy Bueno	No deslizante	Poca probabilidad	Menor a 10	Pavimento nuevo o sobrecapas

Fuente: Barrantes Jiménez, Sanabria Sandino & Loría Salazar, 2013.

• **Sentido 1: Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín (TCM)**

En el carril externo, sentido Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín, de la Ruta Nacional N° 257, ninguno de los tramos de 5 m evaluados tiene un coeficiente de fricción menor al valor límite de 0,48 (ver Figura 10). De los tramos evaluados, la gran mayoría se encuentran en condición buena (94,88%) y sólo un 5,12% de estos se encuentran en condición regular (ver Tabla 30). La Figura 11 muestra la distribución porcentual de la condición de la ruta según su coeficiente de fricción (GN) para este carril.

Tabla 30. Distribución de la condición de la vía según su GN. Sentido: Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín. Carril externo.

GN	Condición	Porcentaje
< 0,50	Malo	0,00%
0,50 - 0,60	Regular	5,12%
0,60 - 0,78	Bueno	94,88%
> 0,78	Muy bueno	0,00%
Total		100,00%

¹ Número de accidentes por cada millón de vehículos / kilómetro, en función del coeficiente de fricción, obtenidos en Gran Bretaña, según memorias del 5to Simposio de Características Superficiales de Pavimentos, Toronto, Canadá, 2004. Tabla modificada LanammeUCR 2018.

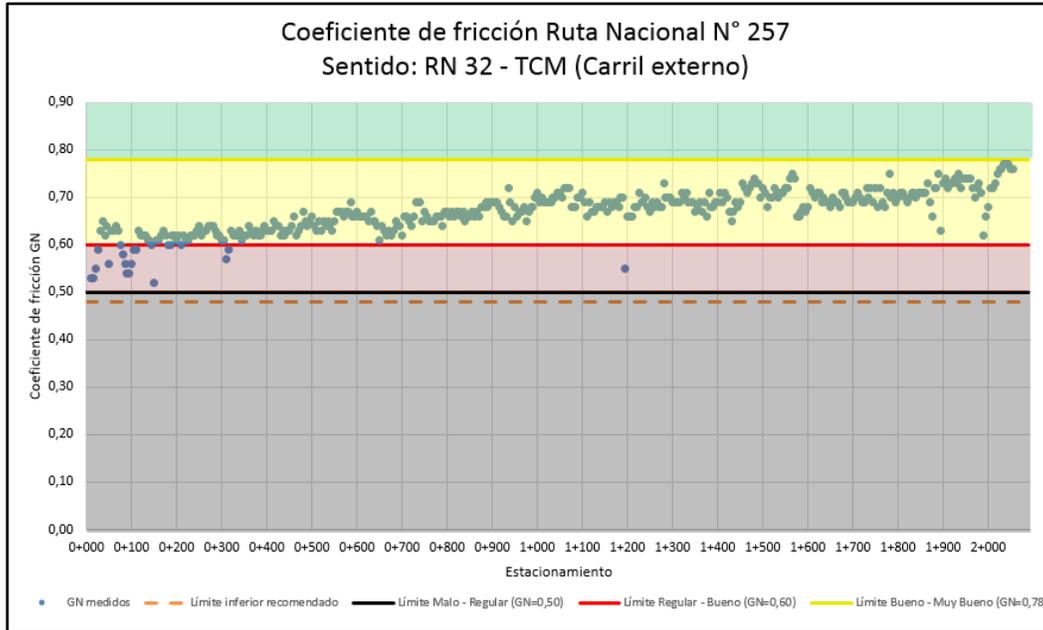


Figura 10. Variación del coeficiente de fricción. Sentido: Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín. Carril externo. Fecha de ensayo: 06/08/2018. Fuente: Informe de ensayo I-1021-18, LanammeUCR.

En el carril interno de la Ruta Nacional N° 257, sentido: Ruta Nacional N° 32 – TCM, todos los tramos evaluados se ubican por encima del valor límite (ver Figura 12). La distribución porcentual de la condición de la vía según su resistencia al deslizamiento para este carril se muestra en la Tabla 31 y Figura 13.

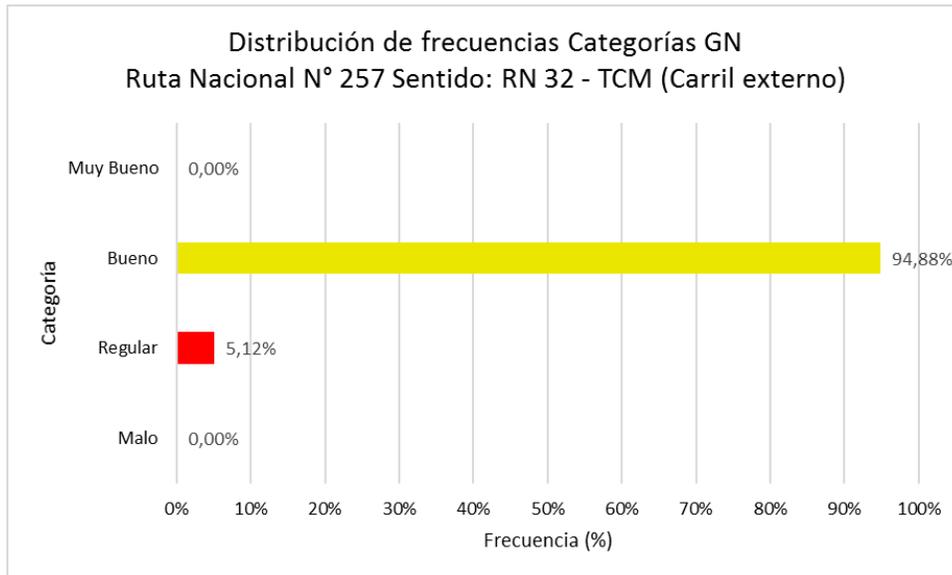


Figura 11. Distribución porcentual de la condición de la ruta según su GN. Sentido: Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín. Carril externo. Fuente: Informe de ensayo I-1021-18, LanammeUCR.

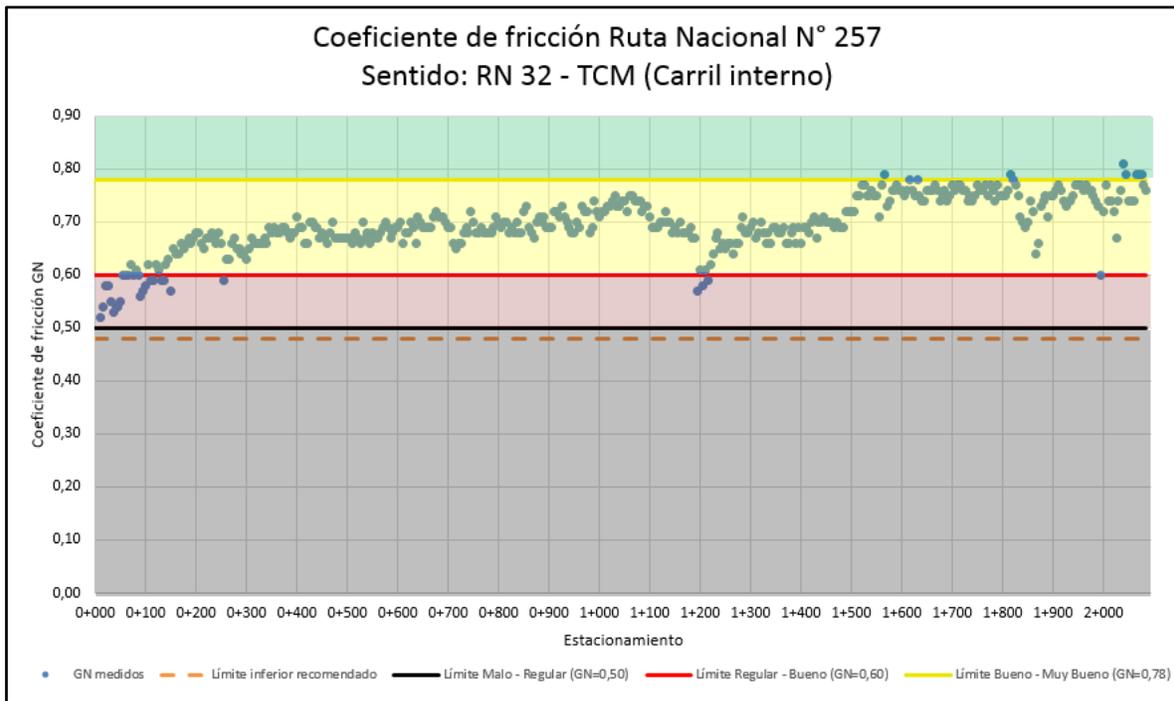


Figura 12. Variación del coeficiente de fricción. Sentido: Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín. Carril interno. Fecha de ensayo: 06/08/2018. Fuente: Informe de ensayo I-1021-18, LanammeUCR.



Tabla 31. Distribución de la condición de la vía según su GN. Sentido: Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín. Carril interno.

GN	Condición	Porcentaje
< 0,50	Malo	0,00%
0,50 - 0,60	Regular	6,49%
0,60 - 0,78	Bueno	91,83%
> 0,78	Muy Bueno	1,68%
Total		100,00%

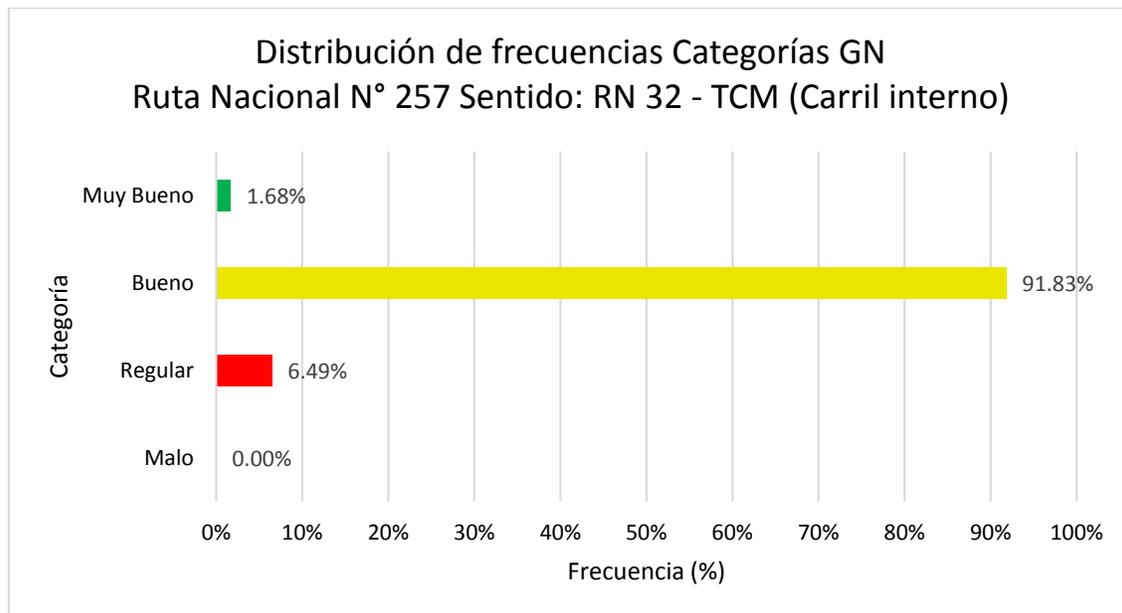
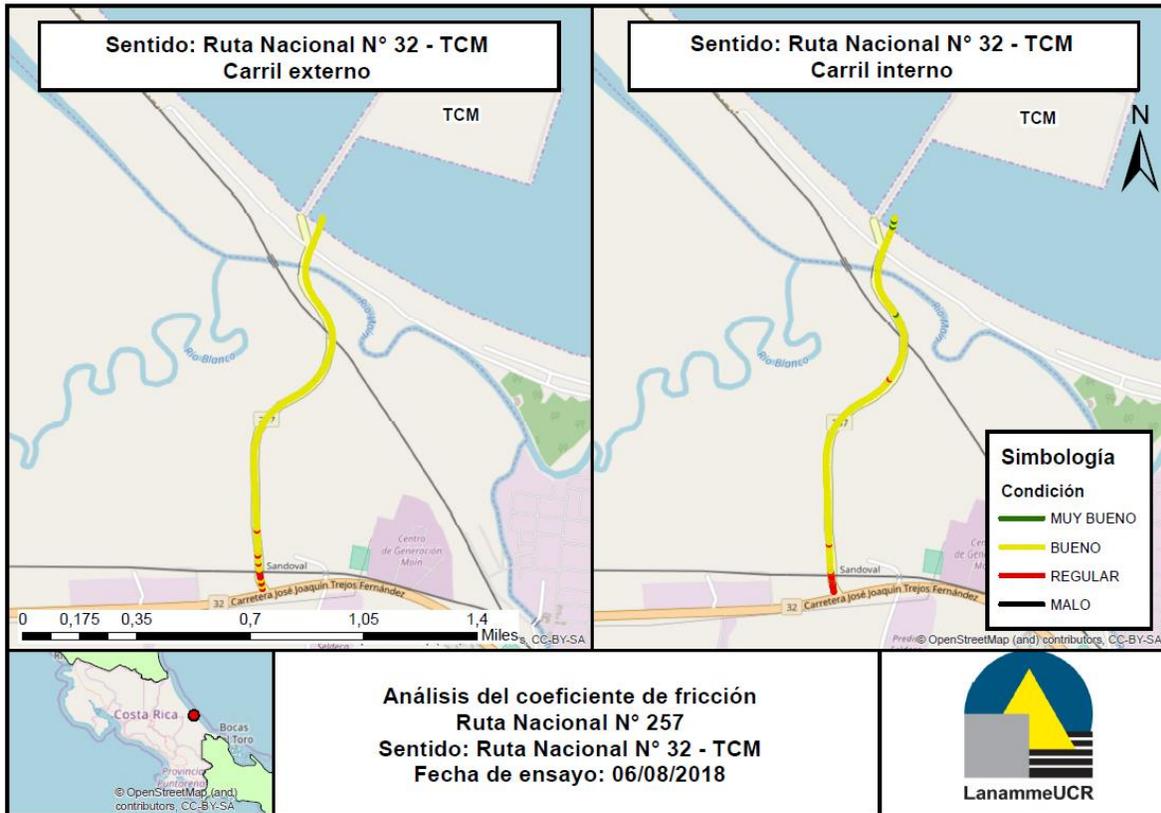


Figura 13. Distribución porcentual de la condición de la ruta según su GN. Sentido: Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín. Carril interno. Fuente: Informe de ensayo I-1021-18, LanammeUCR.

En general, ambos carriles de la vía en el sentido Ruta Nacional N° 32 – TCM tienen una textura superficial poco deslizante, lo cual favorece la seguridad vial de la ruta. En el Mapa 2 se muestra la condición de la vía según su *Grip Number* en el sentido Ruta Nacional N° 32 – TCM.



Mapa 2. Condición de la Ruta Nacional N° 257 según su Grip Number. Sentido: Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín. Fecha de ensayo: 06/08/2018. Fuente LanammeUCR

- **Sentido 2: Sentido: Terminal de contenedores de Moín (TCM) - Ruta Nacional N° 32**

El sentido TCM – Ruta Nacional N° 32 presenta una condición menos favorable para la seguridad vial, pues la cantidad de tramos evaluados que se ubican en las categorías “Regular” y “Malo” son considerables, por lo que presentan una superficie de ruedo deslizante con una alta probabilidad de accidentes. Esta condición aplica para ambos carriles de este sentido de circulación y no es aceptable en una carretera recién construida. Específicamente, en el carril externo de este sentido de circulación, un total de 61 tramos de 5m (15,2% del total de tramos evaluados) tienen un coeficiente de fricción inferior al límite inferior recomendado y representan un riesgo para la seguridad vial de la carretera. Estos tramos se ubican en su mayoría en las cercanías de la terminal de contenedores (ver Figura 14). En la Tabla 32 y Figura 15, se muestra la distribución porcentual de la condición de la vía según su Grip Number para el carril externo en este sentido de circulación.

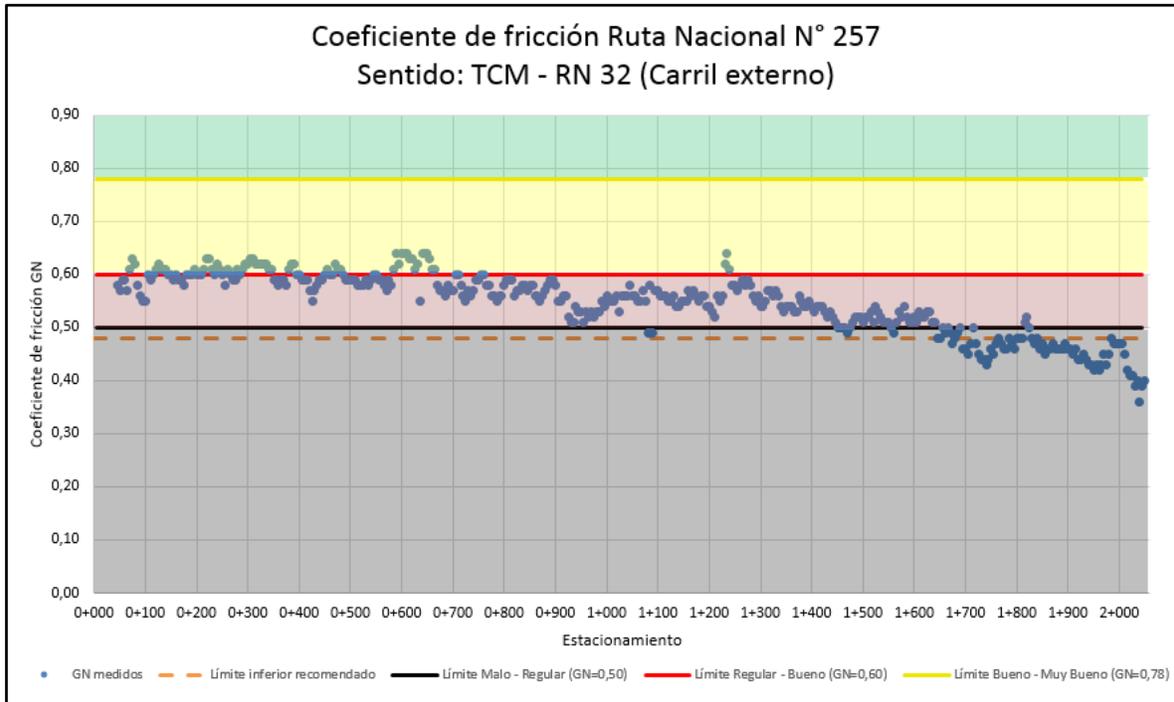


Figura 14. Variación del coeficiente de fricción. Sentido: Terminal de contenedores de Moín - Ruta Nacional N° 32. Carril externo. Fecha de ensayo: 06/08/2018.
Fuente: Informe de ensayo I-1021-18, LanammeUCR.

Tabla 32. Distribución de la condición de la vía según su GN. Sentido: Terminal de contenedores de Moín - Ruta Nacional N° 32. Carril externo.

GN	Condición	Porcentaje
< 0,50	Malo	22,39%
0,50 - 0,60	Regular	63,93%
0,60 - 0,78	Bueno	13,68%
> 0,78	Muy Bueno	0,00%
Total		100,00%

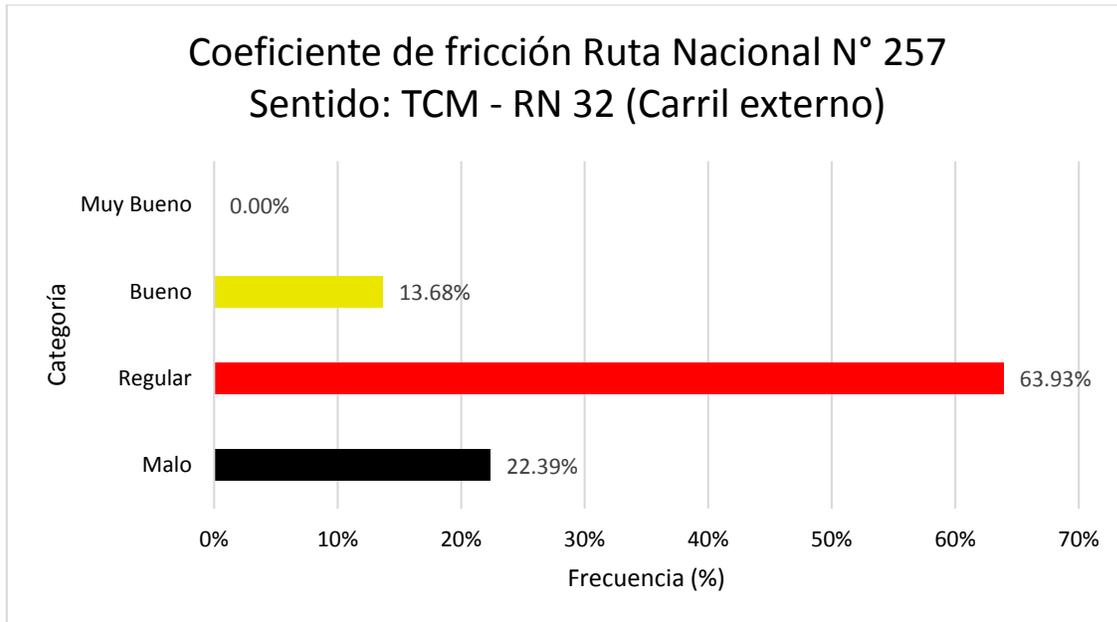


Figura 15. Distribución porcentual de la condición de la ruta según su GN.
Sentido: Terminal de contenedores de Moín - Ruta Nacional N° 32. Carril externo.
Fuente: Informe de ensayo I-1021-18, LanammeUCR.

El carril interno del sentido TCM – Ruta Nacional N° 32 también tiene un porcentaje considerable de tramos en condición regular (45,32% de los tramos evaluados), lo cual no es aceptable para una carretera nueva, pues representan un riesgo para la seguridad de los usuarios dada su alta probabilidad de accidentes. En la Figura 16, se muestra la variación del coeficiente de fricción (GN) a lo largo del carril. En la Tabla 33 y Figura 17, se muestra la distribución porcentual de la cantidad de tramos en cada categoría.

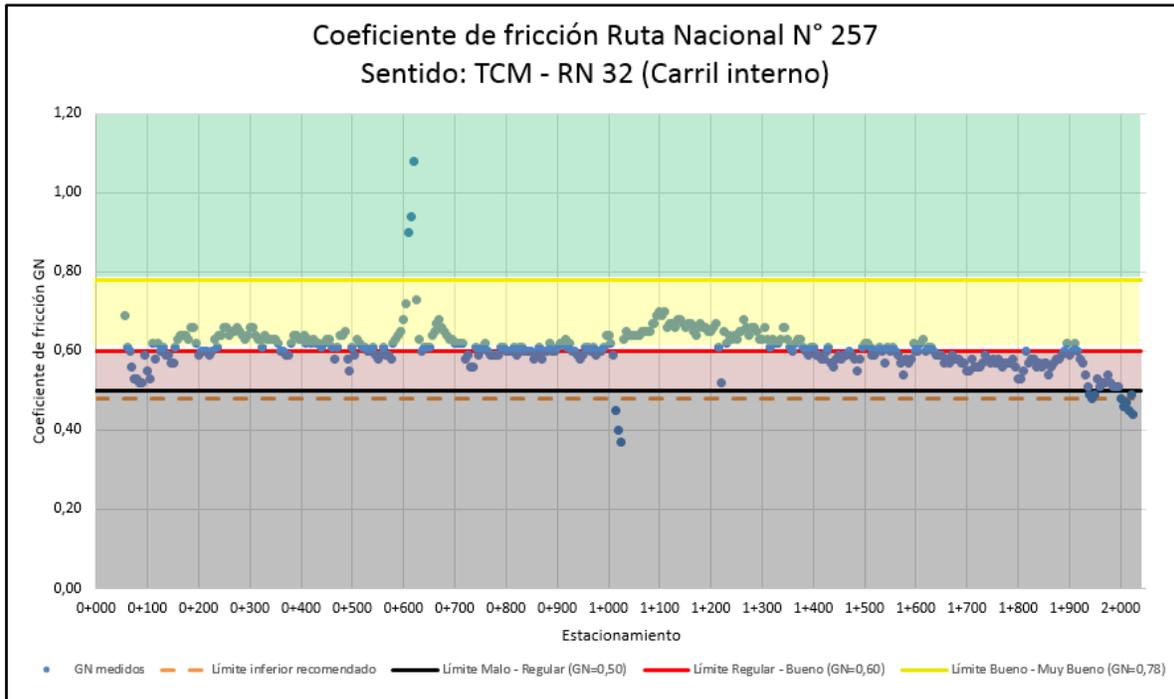


Figura 16. Variación del coeficiente de fricción. Sentido: Terminal de contenedores de Moín - Ruta Nacional N° 32. Carril interno. Fecha de ensayo: 06/08/2018.
Fuente: Informe de ensayo I-1021-18, LanammeUCR.

Tabla 33. Distribución de la condición de la vía según su GN. Sentido: Terminal de contenedores de Moín - Ruta Nacional N° 32. Carril interno.

GN	Condición	Porcentaje
< 0,50	Malo	3,04%
0,50 - 0,60	Regular	45,32%
0,60 - 0,78	Bueno	50,89%
> 0,78	Muy Bueno	0,76%
Total		100,00%

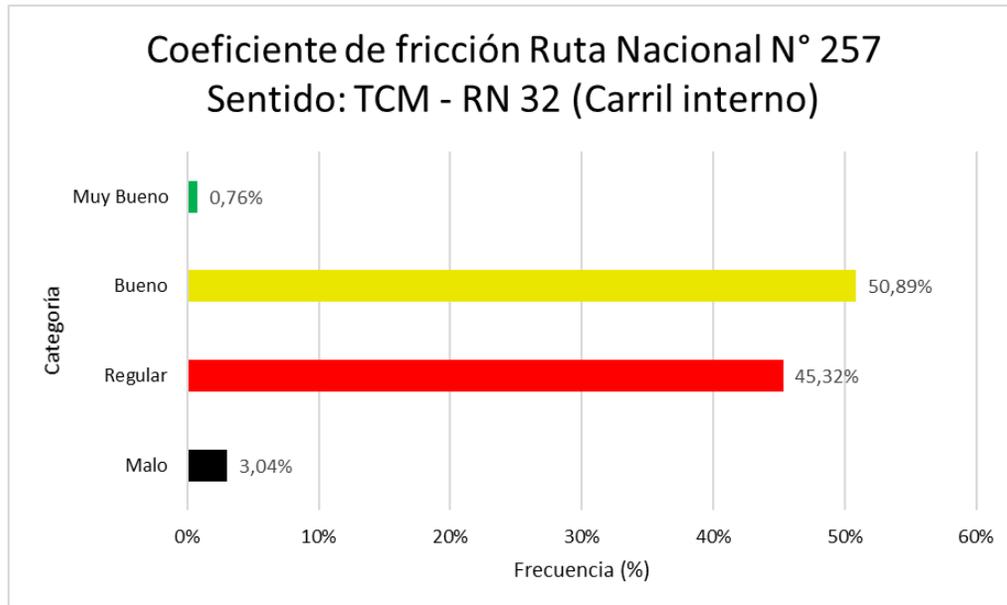
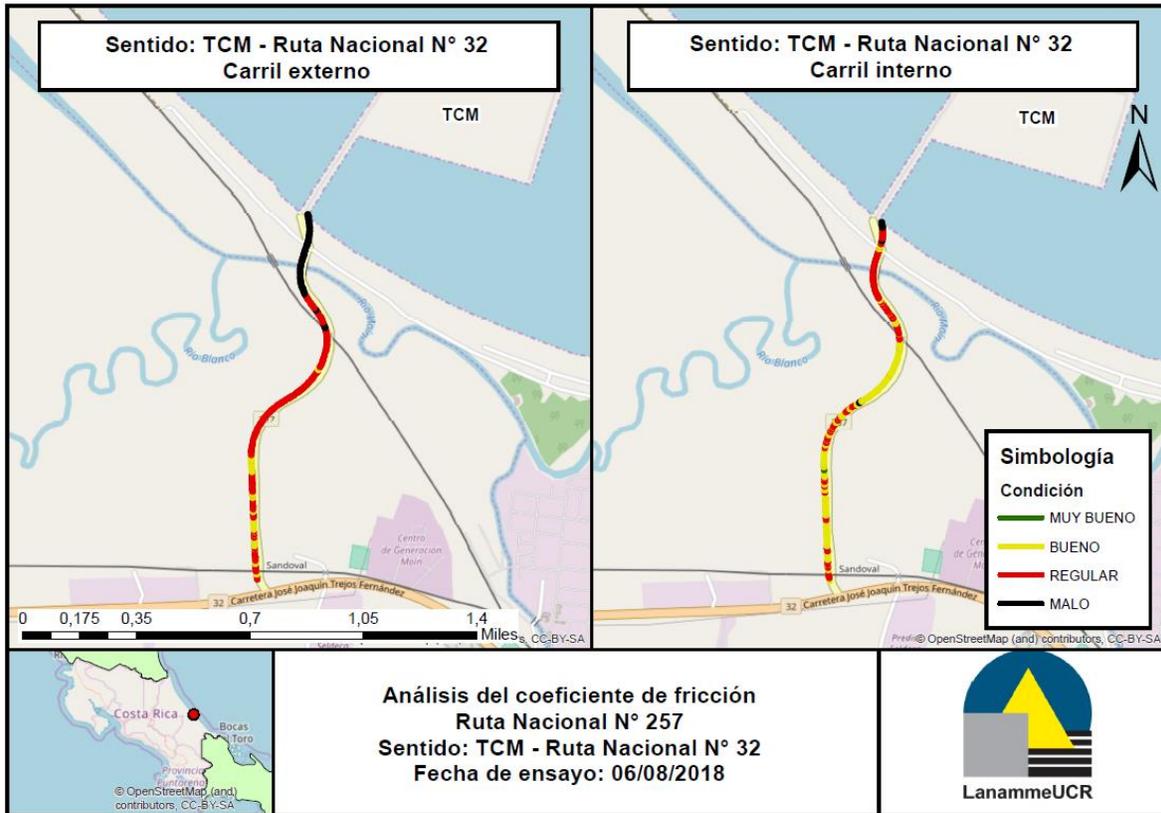


Figura 17. Distribución porcentual de la condición de la ruta según su GN.
Sentido: Terminal de contenedores de Moín - Ruta Nacional N° 32. Carril interno.
Fuente: Informe de ensayo I-1021-18, LanammeUCR.

En el Mapa 3, se muestra la condición de la vía según su *Grip Number* en el sentido TCM - Ruta Nacional N° 32. Como se observa en este mapa, la superficie de ruedo de ambos carriles de este sentido de circulación presenta una textura superficial deslizante y poseen una menor resistencia al deslizamiento que los carriles del otro sentido de circulación (Ver Mapa 2 anterior). La presencia de tramos en condición “mala” se pueden ser consecuencia de la presencia de polvo y suciedad producto del acceso de vehículos a la ruta desde las marginales.



Mapa 3. Condición de la Ruta Nacional N° 257 según su Grip Number. Sentido: Terminal de contenedores de Moín - Ruta Nacional N° 32. Fecha de ensayo: 06/08/2018. Fuente LanammeUCR

En el sentido Ruta Nacional N° 32 – Terminal de contenedores de Moín, la mayoría de los tramos evaluados presenta una textura superficial no deslizante y de riesgo bajo para los usuarios que operan la vía.

En el sentido de circulación Terminal de contenedores de Moín – Ruta Nacional N° 32, se presentan muchos tramos en condición “Regular” y “Mala”, según su resistencia al deslizamiento. Esta condición no es aceptable en una carretera nueva, pues estos tramos poseen una superficie de rueda deslizante y con una alta probabilidad de accidentes que va en detrimento de la seguridad vial de la ruta. Sin embargo, debe hacerse la salvedad de que en este sentido de circulación los valores de fricción medidos pueden estar afectados por el arrastre de material en las llantas de los vehículos provenientes de la zona de la playa, el camino municipal de lastre y la isla artificial que se mantenía en construcción durante la medición efectuada, dado que la mayor frecuencia de estos tramos se ubica en las cercanías de la terminal de contenedores en los carriles de salida.



10.2 SOBRE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES

Hallazgo No. 3. Los resultados de los ensayos realizados a los materiales empleados en la estructura de pavimento evidenciaron incumplimientos en algunos requisitos establecidos por el Manual de especificaciones para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010.

El desarrollo de esta sección del informe se basó en los documentos contractuales, los informes de ensayo realizados por el LanammeUCR, los informes de verificación y control de calidad (Autocontrol) remitidos a esta auditoría y la sección 107.05 Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor del trabajo) del Manual de especificaciones para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010, donde se detalla el proceso que debe seguir tanto la Administración como el contratista para asegurar la calidad de los materiales del proyecto en pro del buen desarrollo del mismo y su desempeño a futuro.

Cabe destacar que la Unidad Ejecutora del proyecto no remitió para la ejecución de esta auditoría los datos de autocontrol y verificación de calidad. Esta situación limitó y provocó atrasos en la ejecución de esta sección del informe. Los datos de calidad fueron solicitados mediante el oficio LM-AT-030-18 del 5 de marzo de 2018 (recibido el 15-03-2018).

- **Sobre la calidad de la mezcla**

Según el avance del proyecto y a la dificultad de programar muestreos, el LanammeUCR pudo obtener nueve muestras de la mezcla asfáltica utilizada en el proyecto. En la Tabla 34 se muestran los resultados de los parámetros Marshall obtenidos para las muestras ensayadas.

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 51 de 63
-------------------------	--------------------------------	-----------------



Tabla 34. Resultados del análisis de parámetros Mashall de las muestras de mezcla asfáltica.

Informe	Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	Asfalto (PTM)	Gbs	Gmax	Vacíos	Estabilidad	Flujo	VMA	VFA	Polvo/asfalto
				%	-	-	%	kgf	1/100 cm	%	%	%
Límite Inferior				5,1	-	-	3,0	800	20	13	65	0.6
Límite Superior				6,1	-	-	5,0	-	35	-	75	1.6
I-0001-18	2331-17	Est. 1+259 sentido 2-1 LD (19 mm)	05/12/2017	5,05	2,391	2,5	4,4	2500	24	14.0	68.7	1.46
I-0001-18	2333-17	Est. 1+603 sentido 2-1 LI (19 mm)	06/12/2017	5,16	2,39	2,505	4,6	2266	25	14.1	67.3	1.47
I-0005-18	2336-17	Planta Meco Guápiles	07/12/2017	5,18	2,365	2,507	5,6	2274	23	15.0	62.4	1.63
I-0323-18	0451-18	Est. 0+220 LD carril externo	05/03/2018	5,33	2,382	2,499	4,68	1939	33	14.34	67.4	1.46
I-0882-18	0536-18	Est. 1+980 carril derecho, lado externo	14/03/2018	5,4	2,396	2,501	4,21	1939	29	13.91	69.7	1.38
I-0912-18	0452-18	Est. 0+295 LD carril externo	05/03/2018	5,59	2,407	2,491	3,38	2304	29	13.69	75.3	1.33
I-0913-18	0453-18	Est. 0+175 LD carril interno	06/03/2018	5,05	2,409	2,491	3,3	2233	27	13.15	74.9	1.36
I-0915-18	0454-18	Est. 0+225 LD carril interno	06/03/2018	5,13	2,402	2,495	3,69	2666	29	13.44	72.5	1.39
I-0916-18	0633-18	Planta Meco Guápiles (19 mm)	05/04/2018	5,42	2,378	2,491	4,51	2712	29	14.57	69	1.35
Promedio (\bar{x})				5,26	2,39	2,50	4,26	2314,78	27.56	14.02	69.69	1.43
Desviación estándar (S)				0,19	0,01	0,01	0,72	275,84	3.13	0.57	4.06	0.09
Categoría				II	-	-	-	-	-	-	-	-
Número total de valores (n)				9	9	9	9	9	9	9	9	9
Límite superior del parámetro de especificación (LSPE)				6,1			5	-	35	-	75	1.6
Límite inferior del parámetro de especificación (LIPE)				5,1			3	800	20	13	65	0.6
Índice de calidad superior (ICS)				4,534			1,018	-	2.381	-	1.307	1.884
Índice de calidad inferior (ICI)				0,839			1,745	5,491	2.416	1.798	1.154	8.914
Porcentaje de incumplimiento fuera (superior) del límite (PIS)				0,10			16,93		2.22		11.37	4.82
Porcentaje de incumplimiento fuera (inferior) del límite (PII) %				21,30			5,96	0,03	2.10	5.50	14.09	0.00
Nivel de incumplimiento (NI) %				21,39			22,89	0,03	4.33	5.50	25.46	4.82
Valor máximo permitido fuera de límites %				45,55			40,55	40,55	40,55	40,55	40,55	40,55

Fuente: LanammeUCR.

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 52 de 63
-------------------------	--------------------------------	-----------------

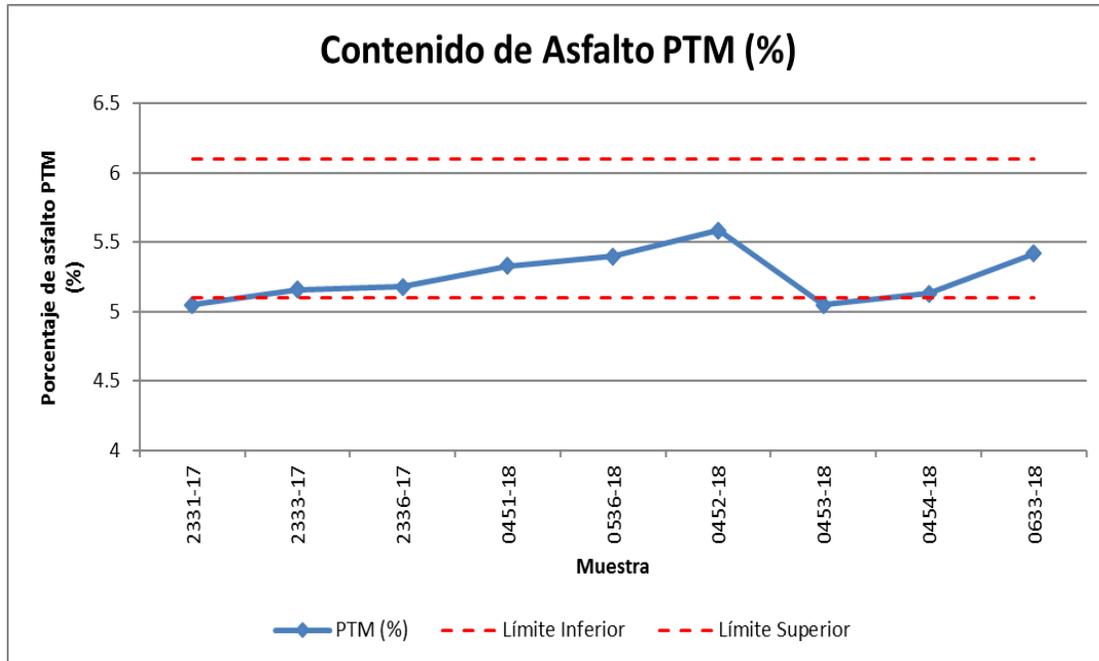


Figura 18. Gráfico de contenidos de asfalto sobre mezcla asfáltica ensayadas por el LanammeUCR.

Fuente: LanammeUCR.

En la Figura 18 se observan los contenidos de asfalto obtenidos por el LanammeUCR, es posible observar que los valores se ubican dentro de los límites establecidos y muestran una tendencia a concentrarse por debajo del contenido óptimo. Con respecto a este parámetro no es posible establecer comparaciones con los resultados de autocontrol y verificación de calidad dada la limitación indicada al inicio de esta sección. Dada la variabilidad de estos datos y a que todos los resultados obtenidos se encontraban dentro de los límites establecidos, el análisis estadístico determinó un nivel de incumplimiento del 21,4% para este parámetro (ver Tabla 34).

Los parámetros porcentaje de vacíos, vacíos llenos de asfalto (VFA), vacíos en el agregado mineral (VMA) y relación polvo / asfalto efectivo no requieren una evaluación estadística según el Manual CR-2010. Los valores mostrados en la Tabla 34 son una referencia del nivel de incumplimiento que tienen estos parámetros.

Los resultados obtenidos sobre la granulometría de la mezcla asfáltica se muestran en la Tabla 35. En esta tabla es posible observar que la mayoría de los resultados obtenidos



cumplen con los límites establecidos en el diseño de mezcla, el nivel de incumplimiento es variable desde un 0,01% en la malla No. 50 hasta 33,21% en la malla No.16 pero sin exceder el límite máximo permitido de aceptación.

Sin embargo, en la Figura 19 es posible observar como ciertas curvas granulométricas se salen ligeramente de las bandas permisibles establecidas en el diseño de mezcla. Las muestras ensayadas por el LanammeUCR muestra incumplimientos para las mallas 1/2", 3/8", N°4, N°8 y N°16 (ver Tabla 35).

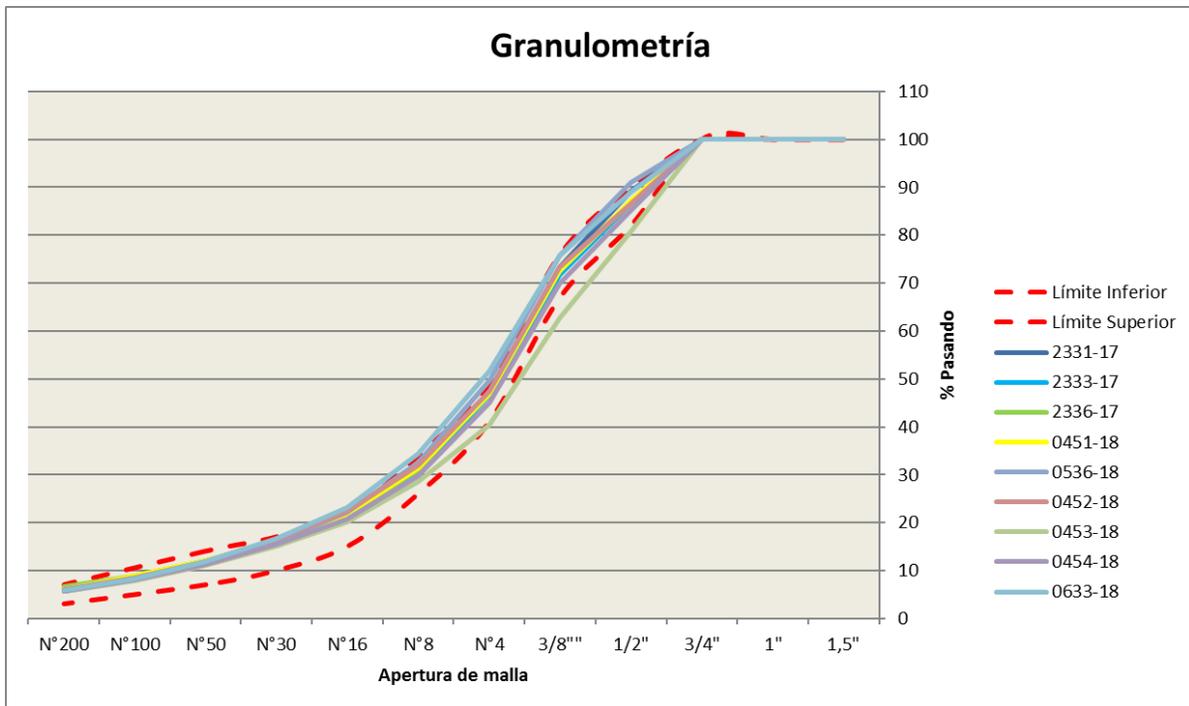


Figura 19. Gráfico de resultados de granulometría para las muestras de mezcla asfáltica.

Fuente: Informe de ensayo I-1021-18, LanammeUCR.



Tabla 35. Resultados de granulometría de las muestras de mezcla asfáltica

Información General				Mallas											
Informe	Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	37,5 mm	25,4 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	0,6 mm	0,3 mm	0,15 mm	75 µm
				1,5"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200
Límite Inferior				100	100	100	82	67	41	26	15	10	7		3
Límite Superior				100	100	100	90	76	49	34	22	17	14		7
I-0001-18	2331-17	Est. 1+259 sentido 2-1 LD (19 mm)	05/12/2017	100	100	100	89,14	73,37	47,52	31,27	21,4	15,84	11,64	8,45	6,06
I-0001-18	2333-17	Est. 1+603 sentido 2-1 LI (19 mm)	06/12/2017	100	100	100	86,56	71,71	46,63	30,67	21,02	15,62	11,54	8,38	6,02
I-0005-18	2336-17	Planta Meco Guápiles	07/12/2017	100	100	100	86,58	73,15	47,25	31,04	21,49	16,09	12,02	8,95	6,68
I-0323-18	0451-18	Est. 0+220 LD carril externo	05/03/2018	100	100	100	87,27	72,44	46,93	31,32	21,74	16,21	12,02	8,92	6,06
I-0882-18	0536-18	Est. 1+980 carril derecho, lado externo	14/03/2018	100	100	100	90,97	75,83	49,58	32,68	22,21	16,22	11,68	8,22	5,72
I-0912-18	0452-18	Est. 0+295 LD carril externo	05/03/2018	100	100	100	86,62	73,37	47,42	31,94	22,31	16,52	11,95	8,5	6,02
I-0913-18	0453-18	Est. 0+175 LD carril interno	06/03/2018	100	100	100	80,66	62,62	40,39	28,52	20,22	15,1	11,08	7,98	5,7
I-0915-18	0454-18	Est. 0+225 LD carril interno	06/03/2018	100	100	100	85,22	69,84	45,09	29,8	20,84	15,43	11,25	8,06	5,77
I-0916-18	0633-18	Planta Meco Guápiles (19 mm)	05/04/2018	100	100	100	88,92	75,75	51,59	34,4	23,18	16,68	11,92	8,37	5,85
Promedio (X̄)				100	100	100	86,88	72,01	46,93	31,29	21,60	15,97	11,68	8,43	5,99
Desviación estándar (S)				0,00	0,00	0,00	2,91	3,98	3,08	1,67	0,88	0,52	0,34	0,34	0,30
Categoría				-	-	-	-	I	II	I	-	-	-	-	II
Número total de valores (n)				9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Límite superior del parámetro de especificación (LSPE)							90	76	49	34	22	17	14		7
Límite inferior del parámetro de especificación (LIPE)							82	67	41	26	15	10	7		3
Índice de calidad superior (ICS)							1,1	1,0	0,7	1,6	0,5	2,0	6,8		3,4
Índice de calidad inferior (ICI)							1,7	1,3	1,9	3,2	7,5	11,6	13,7		10,0
Porcentaje de incumplimiento fuera (superior) del límite (PIS) %							15,78	17,27	26,03	7,21	33,20	4,02	0,01		0,47
Porcentaje de incumplimiento fuera (inferior) del límite (PII) %							6,61	12,19	4,49	0,66	0,00	0,00	0,00		0,00
Nivel de incumplimiento (NI) %							22,39	29,45	30,52	7,87	33,21	4,02	0,01		0,47
Valor máximo permitido fuera de límites %							40,55	40,55	45,55	40,55	40,55	40,55	40,55		45,55

Fuente: LanammeUCR



- **Sobre el comportamiento a fatiga de las muestras de mezcla asfáltica**

El comportamiento a fatiga de las muestras de mezcla asfáltica del proyecto tomadas por el LanammeUCR fue evaluado con respecto a la versión actualizada de la sección 401 “Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall” del Manual CR-2010, la mezcla colocada en el proyecto califica dentro de la especificación para mezclas de alto desempeño (más de 10 millones de ESAL’s) tipo D. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 36 y la Figura 20.

A partir de los resultados obtenidos se observa una tendencia con respecto a la especificación de fatiga para 600 μm y 25000 ciclos o más, dos de las seis muestras evaluadas satisfacen el límite de especificación. En cuanto a la especificación de 400 μm y 300000 ciclos o más es alcanzada por dos de las seis muestras evaluadas.

En conclusión, se evidencia una tendencia a que los resultados promedio de las muestras evaluadas para su comportamiento a fatiga muestren valores por debajo de los límites de especificación lo que implica la posibilidad de que exista un riesgo potencial de fisuramiento en la capa de mezcla asfáltica.

Tabla 36. Resultados de ensayo a fatiga para las muestras de mezcla asfáltica.

Informe	Muestra	Fecha	Punto de muestreo	Vacíos (%)	Deformación unitaria: 400 1x10-6 mm/mm			Deformación unitaria: 600 1x10-6 mm/mm		
					Ciclo 1	Ciclo 2	Promedio	Ciclo 1	Ciclo 2	Promedio
Límite Inferior					300 000	300 000	300 000	25 000	25 000	25 000
Límite Superior					N / A					
I-0918-18	0451-18	05/03/2018	Est. 0+220 LD carril interno	6,15	610609	264003	437306	27259	25472	26366
I-0923-18	0452-18	05/03/2018	Est. 0+295 LD carril externo	6,75	93020	24610	58815	4900	6910	5905
I-0924-18	0453-18	06/03/2018	Est. 0+175 LD carril interno	6,8	162350	437540	299945	30250	11070	20660
I-0931-18	0454-18	06/03/2018	Est. 0+225 LD carril interno	6,95	71590	-	71590	9280	5960	7620
I-0932-18	0633-18	05/04/2018	Planta Meco Guápiles	7,75	167550	217100	192325	22260	19480	20870
I-0012-18	2336-17	07/12/2017	Planta Meco Guápiles	6,9	384873	291852	338362.5	25286	32450	28868

Fuente: LanammeUCR.



Figura 20. Resultados de ensayo a fatiga de la mezcla asfáltica colocada en el proyecto. Fuente: LanammeUCR.

• **Sobre el comportamiento a deformación permanente de las muestras de mezcla asfáltica.**

Los resultados del ensayo APA de deformación permanente efectuado a las muestras de mezcla asfáltica tomadas por el LanammeUCR se muestran en la Tabla 37, donde se indica el número de informe y la ubicación de muestra tomada.

Según los resultados obtenidos se evidencia que en las muestras tomadas mantiene una tendencia por debajo del límite máximo aceptable, solo una de las seis muestras ensayadas excedió dicho límite. Se concluye para las muestras ensayadas que el riesgo es bajo con respecto a la posibilidad de que el desempeño de la mezcla asfáltica por deformación permanente no sea satisfactorio.



Tabla 37. Resultados del ensayo de deformación permanente de las muestras ensayadas por el LanammeUCR.

Informe	Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	Vacíos (%)	Deformación (mm)				
					Promedio	LI	LC	LD	
Límite superior					-	2,5	2,5	2,5	2,5
I-0918-18	0451-18	Est. 0+220 LD carril interno	05/03/2018	6,6	2,067	2,059	2,09	2,052	
I-0923-18	0452-18	Est. 0+295 LD carril externo	05/03/2018	7,5	2,06	2,189	1,9	2,092	
I-0924-18	0453-18	Est. 0+175 LD carril interno	06/03/2018	7,0	2,522	2,498	1,986	3,082	
I-0931-18	0454-18	Est. 0+225 LD carril interno	06/03/2018	7,3	2,163	2,301	2,406	1,781	
I-0932-18	0633-18	Planta Meco Guápiles	05/04/2018	6,8	2,251	2,65	1,711	2,393	
I-0012-18	2336-17	Planta Meco Guápiles	07/12/2017	7,1	1,019	1,234	0,803	1,02	

Fuente: LanammeUCR

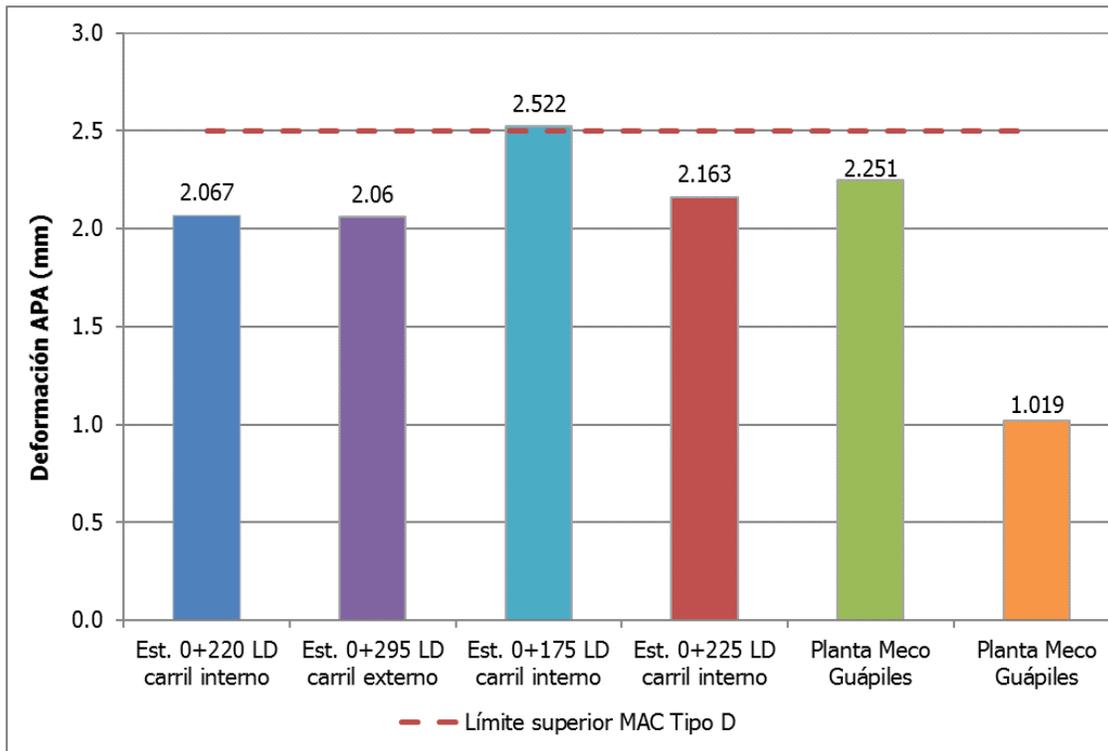


Figura 21. Comportamiento a deformación permanente de la mezcla asfáltica colocada en el proyecto según el ensayo APA.

Fuente: LanammeUCR.



11. CONCLUSIONES

A partir de los resultados evidenciados durante la ejecución de la auditoría, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

Sobre el desempeño de la estructura del pavimento.

La evaluación del parámetro contractual de regularidad superficial por medio del valor de IRI (International Roughness Index por sus siglas en inglés) permite concluir que los resultados obtenidos de este parámetro se mantienen por debajo de límite máximo permitido por la especificación en todos los carriles evaluados, según la especificación indicada en el cartel de licitación del proyecto, tanto para tramos individuales como para promedios fijos.

En el análisis de deflexiones del pavimento se evidencia que, en las capas intermedias, donde se ubica la capa de base estabilizada, se agrupan con mayor frecuencia en la condición “Regular”, principalmente en los carriles del sentido TCM-Ruta 32, esta condición no es aceptable para un pavimento recién construido. Adicionalmente, se concluye del análisis estructural que existe un riesgo potencial alto de que la durabilidad y el desempeño de la estructura recién colocada sea menor que la esperada en el diseño del pavimento aprobado por la Administración y que sea necesario realizar actividades de mantenimiento prematuras como consecuencia de una capacidad estructural menor y la cantidad de vehículos pesados que circulan por la vía.

Con se afirmó en el informe LM-PI-AT-024-17 las características de la mezcla asfáltica pudieron tener un estándar mayor y contemplar las posibles consecuencias del alto tráfico de vehículos pesados de la vía por medio de la metodología de diseño “Superpave”, donde se considera con mayor profundidad las características del tráfico y la temperatura del proyecto, también pudo valorarse la posibilidad de utilizar mezclas asfálticas modificadas anti-fatiga.

La mayoría de los tramos de la ruta presentan una condición de fricción catalogada como “Buena” según el valor de “Grip Number”, por lo que el pavimento presenta una textura poco deslizante y la probabilidad de riesgo de accidente por esta condición es baja. Sin embargo, se ubicaron tramos donde la textura del pavimento es deslizante según los valores medidos. No obstante, en estos tramos se observó la presencia de contaminación con material proveniente de la zona de playa y la vía cantonal de lastre aledaña al proyecto, por lo que no es posible afirmar que la condición observada se pueda atribuir a la calidad de la superficie de ruedo y comprometa el nivel de seguridad vial de los usuarios de la vía.

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 59 de 63
-------------------------	--------------------------------	-----------------



Sobre la calidad de los materiales

La Unidad Ejecutora no remitió la actualización de la información de control de calidad de los materiales utilizados en la construcción de la capa de mezcla asfáltica y base estabilizada. Esta situación condicionó el análisis de calidad de los materiales realizado y no permitió evidenciar los mecanismos de control utilizados durante la construcción del pavimento, ni establecer comparaciones con los resultados obtenidos por el LanammeUCR. De acuerdo con la sección 107.05 Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor del trabajo) del CR-2010, se evidencian incumplimientos en las mallas 1/2", 3/8", N°4, N°8 y N°16", de los resultados granulométricos obtenidos por el LanammeUCR para la mezcla asfáltica empleada en el proyecto. Sin embargo, tienen un nivel de incumplimiento menor al máximo permitido para la aceptación. Además, se observan incumplimientos en el parámetro VFA y en el porcentaje de vacíos en campo, pero estos parámetros muestran un nivel de incumplimiento menor al máximo permitido según la sección 107.05 del CR-2010, todo según los resultados obtenidos por el LanammeUCR.

Con respecto al comportamiento a fatiga de la mezcla asfáltica colocada se concluye que los resultados promedio de las muestras evaluadas muestran una tendencia por debajo de los límites de especificación lo que implica la posibilidad de que exista un riesgo potencial de fisuramiento en la capa de mezcla asfáltica.

Los resultados obtenidos de las pruebas de deformación permanente efectuados a las muestras de mezcla asfáltica evidencian una tendencia a mantener valores por debajo del límite máximo aceptable. Por lo tanto, se concluye que, para las muestras ensayadas, que el riesgo es bajo con respecto a la posibilidad de que el desempeño de la mezcla asfáltica por deformación permanente no sea satisfactorio.



12. RECOMENDACIONES

A continuación, se listan las recomendaciones del informe para que sean consideradas por la Administración, y las Gerencias de Contratación y Construcción de Vías y Puentes, con el propósito de que puedan definirse e implementarse acciones integrales a futuros proyectos de infraestructura vial.

A la Dirección Ejecutiva del CONAVI:

- Implementar los mecanismos internos acceso a la información de proyectos (SIGEPRO) en términos de la disponibilidad de la información de calidad de los materiales y estimaciones de pago de los proyectos en ejecución bajo la modalidad de Unidades Ejecutoras. Es de suma importancia que, durante las fases de cada proyecto, se tengan especificaciones, planos constructivos completos y el resto de la información relevante disponible y accesible, esto en procura de la calidad del proyecto y la transparencia en los procesos de inversión pública.

A la Unidad Ejecutora del proyecto:

- Monitorear el desempeño del pavimento para detectar la presencia de deterioros prematuros a fin de ejecutar oportunamente actividades de mantenimiento oportunas que eviten la aparición de deterioros más severos que afecten funcionalmente el tramo y estos deban ser atendidos por medio de actividades de conservación vial no previstas para esta ruta.
- Implementar en los proyectos de obra nueva las buenas prácticas de la ingeniería de pavimentos durante el proceso de selección y aprobación de los diseños de mezcla asfáltica a colocar en los proyectos de obra nueva. Hoy en día existen opciones para mejorar el desempeño por fatiga y deformación permanente de las mezclas asfálticas.

REFERENCIAS

- Barrantes Jiménez, R., Sanabria Sandino, J., & Loría Salazar, L. (2013). *Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica Años 2012-2013*. San José: LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA).
- Camacho-Garita, E., Leiva-Villacorta, F., Aguiar-Moya, J., & Loria-Salazar, L. (2014). *Proceso constructivo PaveLab (LM-PI-UMP-027-R1)*. Costa Rica: Unidad de Materiales y Pavimentos_Programa de infraestructura del transporte (PITRA)_LanammeUCR.

Informe LM-PI-AT-120-18	Fecha de emisión: Febrero 2019	Página 61 de 63
-------------------------	--------------------------------	-----------------



EQUIPO AUDITOR		
Preparado por: Ing. Erick Acosta Hernández Auditor Técnico	Preparado por: Ing. Mauricio Picado Muñoz. Auditora Técnica	
Aprobado por: Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc. Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica PITRA	Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D. Coordinador General PITRA	Visto Bueno de Legalidad: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR