



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



programa de infraestructura  
del transporte

# Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-015-15

## EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES, LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LA LOSA DE RODAMIENTO Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.

PERIODO DE MUESTREO: AÑO 2014

**PROYECTO:** *Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas-Liberia. LPI No. 2011LI-000004-ODI00*



Preparado por:

**Unidad de Auditoría Técnica**



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  
Noviembre 2015

# EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES, LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LA LOSA DE RODAMIENTO Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.LM-PI-AT-015-2015

Cervantes-Calvo, Victor <sup>1</sup>; Fonseca-Chaves, Francisco <sup>2</sup>; Sequeira-Rojas, Wendy <sup>3</sup>  
y Loria-Salazar, Luis Guillermo <sup>4</sup>

1. Ingeniero Auditor Técnico. PITRA LanammeUCR
2. Ingeniero Auditor Técnico. PITRA LanammeUCR
3. Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica PITRA LanammeUCR
4. Coordinador General Programa de Infraestructura del Transporte LanammeUCR

**Palabras Clave:** PITRA, Cañas Liberia, GRIP, FWD, control de calidad, prácticas constructivas.

**Resumen:** El presente informe presenta los resultados de la evaluación de los materiales de Base estabilizada y concreto que fueron colocados en la carretera del proyecto de ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional 1 Sección Cañas Liberia. También se presentan resultados la calidad y el desempeño de las reparaciones realizadas en las losas agrietadas del proyecto así como de los resultados de fricción obtenidos. Finalmente se evalúan las practicas constructivas observadas en las giras al proyecto.

---

## Referencias

1. Ahammed, M. A., & Tighe, S. L. (2008). Long Term and Seasonal Variations of Pavement Surface Friction. *Long-term Warranty Contracts for Pavement Construction or Rehabilitation Session*. Toronto, Ontario.
2. Barrantes Jimenez, R., Sanabria Sandino, J., & Loria Salazar, G. (2013). *Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica Años 2012-2013*. LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), San José.
3. Calo, D. (2013). Avances en las Características Superficiales de los Pavimentos de Hormigón. *5ª Jornada de Hormigón en Uruguay*, (págs. 9-10). Montevideo.
4. Calo, D. (2008). Diseño de Pavimentos Rígidos. *Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos*, (págs. 1-68). Cordoba.
5. Cervantes-Calvo, V., Fonseca-Chaves, F., & Hidalgo-Arroyo, A. (2013). Análisis de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento. Periodo de muestreo: Enero a Marzo 2013. San José.
6. Cervantes-Calvo, V., Fonseca-Chaves, F., & Hidalgo-Arroyo, A. (2013). Análisis de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento. Periodo de muestreo: Julio Octubre 2013. San José.
7. Cervantes-Calvo, V., Fonseca-Chaves, F., & Hidalgo-Arroyo, A. (2014). Análisis general de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento rígido. periodo de muestreo: año 2013. San José.
8. Halsted, G., Luhr, D., & Adaska, W. (2006). *Guide to Cement-Treated Base (CTB)*. Illinois: PCA.
9. LanammeUCR. (2014). *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica*. San José.
10. Miranda, F., Leiva, F., & Aguiar, J. P. (2014). *Verificación De Espesores Y Evaluación/Análisis De Deflectometría De impacto Carretera Santiago-Vigúí*. Lanamme, PITRA, San José.
11. MOPT. (2010). *Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Carreteras y Puentes*. San José.
12. Neville, A. (2010). *Tecnología del Concreto*. Reino Unido: Pearson.
13. Portlando Cement Association. *Guía de Bases Tratadas con Cemento*.

Cervantes-Calvo, V., Fonseca-Chaves, F., Sequeira-Rojas, W., & Loría-Salazar, L (2015). *Evaluación de la calidad de los materiales , la capacidad estructural y funcional de la losa de rodamiento, aspectos constructivos*. LANAMME, PITRA, San José.

<b>1. Informe Final</b> Informe Final de Auditoría Técnica LM-PI-AT-015-15	<b>2. Copia No.</b> 1	
<b>3. Título y subtítulo:</b> EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES, LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LA LOSA DE RODAMIENTO Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS. PROYECTO “AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO. 1, CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, SECCIÓN CAÑAS-LIBERIA.”, LPI NO. 2011LI-000004-0DI00. PERIODO DE ANALISIS MUESTREOS AÑO 2014	<b>4. Fecha del Informe</b> Noviembre 2015	
<b>7. Organización y dirección</b> Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
<b>8. Notas complementarias</b> <p style="text-align: center;">--**--</p>		
<b>9. Resumen</b> <p><u>Calidad del material de base estabilizada colocado en el proyecto:</u> Del análisis realizado se muestra que los valores de resistencia a la compresión uniaxial en las muestras de especímenes de base estabilizada ensayados por los tres laboratorios analizados en este estudio presentan un incumplimiento alto en el límite superior de la resistencia permitida, esto basado en el pronunciamiento de LM-PI-044-12. Altas resistencias a la compresión de la capa de base estabilizada podría provocar un riesgo latente de agrietamiento en esta capa.</p> <p><u>Calidad del concreto para pavimento rígido:</u> Los valores de resistencia a la flexo tracción en general cumplen con el límite mínimo de 50 kg/cm<sup>2</sup>, establecido en el Cartel de Licitación del proyecto en cuestión a lo largo del periodo de estudio.</p> <p><u>Calidad de las reparaciones realizadas en la losa de rodamiento:</u> Los valores obtenidos en los núcleos de concreto reparados obtenidos en la losa de rodamiento dieron valores muy similares a los de los núcleos que se obtuvieron de zonas de la losa que se encontraban sanas, por lo que se determina que la reparación mediante inyección de epóxico permite recuperar la capacidad estructural del material.</p> <p><u>Capacidad estructural de la losa de rodamiento y del paquete estructural del pavimento:</u> Realizando ensayos de deflectometría de impacto en el proyecto se logró determinar que las losas de concreto agrietadas pueden perder capacidad estructural con respecto a las losas sanas. Las losas reparadas lograron, en su mayoría, alcanzar valores mayores a los esperados según el valor de módulo de diseño</p> <p><u>Sobre la Transferencia de Carga entre losas:</u> Del análisis realizado se puede determinar que casi todos los tramos evaluados cuentan con una adecuada eficiencia de transferencia de carga (mayor a 70%) a excepción de uno. Cabe mencionar que una poca eficiencia en la transferencia de carga implica deformaciones en los bordes de las losas que, bajo la aplicación de cargas repetidas, generan agrietamiento, entre otros deterioros.</p> <p><u>Sobre el coeficiente de fricción de la carretera (Grip Number):</u> Los valores obtenidos mediante el ensayo de Grip Number fueron menores a los recomendados para una carretera en casi toda la totalidad del proyecto. Un valor bajo de Grip Number implica una condición deslizante en la carretera que representa un alto riesgo para la seguridad vial de los usuarios. La ausencia de la utilización de una manta de yute para brindar microtextura al pavimento pudo ocasionar esta ausencia de fricción.</p> <p><u>Sobre el Índice de Condición del Pavimento (PCI):</u> al realizar la evaluación del PCI del proyecto se obtuvo una calificación de 88.5 la cual es considerada como una buena condición para un proyecto que ya se encuentra en funcionamiento, a pesar de esto no es la calificación que se espera para un proyecto nuevo, la cual debe rondar entre 100 -90.</p> <p><u>Sobre a los malas prácticas constructivas:</u> durante las visitas al proyecto se detectaron practicas inadecuadas como cortes inadecuados en reparaciones de losas e inadecuada colocación de dovelas o sus canastas, las cuales pueden disminuir la vida útil de la losas de rodamiento..</p>		
<b>10. Palabras clave</b> Material de Base Estabilizada, Pavimento de Concreto, Resistencia, GRIP, FWD, PCI.	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 56

**INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA  
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES, LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE  
LA LOSA DE RODAMIENTO Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS  
Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte,  
sección Cañas-Liberia.” LPI NO. 2011LI-000004-0DI00.**

**Departamento encargado del proyecto:** Unidad Ejecutora de Contrato PIV-1, CONAVI

**Laboratorio de verificación de calidad:** Consorcio Supervisor de Infraestructura Cacisa & Euroestudios

**Empresa contratista:** Consorcio FCC-Interamericana Norte

**Laboratorio de control de calidad:** L.G.C. Ingeniería de Pavimentos S.A.

**Monto original del contrato:** ₡48.251.641.725,43 (colones)

**Plazo original de ejecución:** 730 días naturales

**Longitud del proyecto:** 50,610 kilómetros

**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. Víctor Cervantes Calvo, Auditor Técnico Adjunto

Ing. Francisco Fonseca Chaves, MBA, Auditor Técnico Líder

**Asesor Legal :**

Lic. Miguel Chacón Alvarado

**Alcance del informe:**

El alcance de esta Auditoría Técnica se centró en el análisis de la información recopilada sobre la evaluación de la calidad del material de base estabilizada y concreto del pavimento rígido en el proyecto, así como la capacidad estructural y funcional del pavimento de concreto, para el periodo de muestreo que corresponde al año 2014, que fue emitida por los laboratorios de control de calidad, verificación de calidad y el LanammeUCR. Adicionalmente, se pretende evaluar aspectos relacionados con los procedimientos constructivos y de inspección acorde con la normativa nacional y las buenas prácticas de la ingeniería civil.

## TABLA DE CONTENIDOS

LPI NO. 2011LI-000004-ODI00.....	10
PERIODO DE MUESTREO: AÑO 2014.....	10
1. FUNDAMENTACIÓN .....	10
2. OBJETIVO DE LA AUDITORÍA TÉCNICA .....	10
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y UBICACIÓN.....	11
4. ANTECEDENTES .....	11
5. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA .....	13
6. ALCANCE DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	13
7. RESPONSABLES DEL PROYECTO.....	14
8. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR.....	14
9. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA .....	15
A. SOBRE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO.....	15
HALLAZGO 1. LOS VALORES DE RESISTENCIA OBTENIDOS PARA LA BASE ESTABILIZADA BE-35 INCUMPLEN EL PROMEDIO INDICADO EN EL LM-PI-044-12. ....	15
HALLAZGO 2. EL CONCRETO CON MÓDULO DE RUPTURA DE 50 KG/CM <sup>2</sup> A LOS 28 DÍAS CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES DE RESISTENCIA ESTABLECIDAS EN EL MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, CAMINOS Y PUENTES CR-2010.....	22
B. SOBRE LOS DE LA REPARACIÓN DE LA LOSA DE RODAMIENTO .....	27
HALLAZGO 3. LAS REPARACIONES REALIZADAS POR EL CONTRATISTA EN LAS GRIETAS DE LAS LOSAS DE CONCRETO RECUPERAN LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL MATERIAL.....	27
HALLAZGO 4. LAS REPARACIONES REALIZADAS POR EL CONTRATISTA EN LAS GRIETAS DE LAS LOSAS DE CONCRETO RECUPERAN LA CAPACIDAD DE LAS LOSAS DE RODAMIENTO COMO ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	32
C. SOBRE LA CAPACIDAD FUNCIONAL DE LA VÍA.....	37
OBSERVACIÓN 1 . LAS TRANSFERENCIA DE CARGA EN LAS LOSAS DEL PAVIMENTO ES SATISFACTORIA, EN SU MAYORÍA. ....	37
HALLAZGO 5. EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN (GRIP NUMBER) DE LA CARRETERA ES MENOR AL MÍNIMO RECOMENDABLE. ....	39
OBSERVACIÓN 2. EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) SE ENCUENTRA POR DEBAJO DEL ESPERADO PARA UN PROYECTO NUEVO.....	46
D. SOBRE LOS ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.....	50
HALLAZGO 6. SE HAN DETECTADO PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS INADECUADAS QUE PUEDEN FAVORECER LA APARICIÓN DE GRIETAS EN LAS LOSAS DE CONCRETO.....	50



<b>11. CONCLUSIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>12. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>13. REFERENCIAS .....</b>	<b>55</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESUMEN DE LOS PRODUCTOS DE AUDITORÍA TÉCNICA EN EL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA .....	12
TABLA 2. NÚMERO DE INFORMES Y MUESTRA POR MATERIAL ANALIZADO.....	13
TABLA 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE LAS MUESTRAS DE BASE ESTABILIZADA (RESISTENCIA DE DISEÑO = 40 KG/CM <sup>2</sup> ) PARA EL AÑO 2014, CACISA.....	16
TABLA 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE LAS MUESTRAS DE BASE ESTABILIZADA (RESISTENCIA DE DISEÑO = 40 KG/CM <sup>2</sup> ) PARA EL AÑO 2014, LGC. ....	18
TABLA 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DE LAS MUESTRAS DE BASE ESTABILIZADA (RESISTENCIA DE DISEÑO = 35 KG/CM <sup>2</sup> ) PARA EL AÑO 2014, LANAMME. ....	21
TABLA 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXO TRACCIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE LOSA PRINCIPAL.....	22
TABLA 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXO TRACCIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE ESTRUCTURAS SECUNDARIAS <sup>1</sup> .....	23
TABLA 8. VALORES DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN DIAMETRAL DE LOS ESPECÍMENES FALLADOS POR EL LANAMMEUCR.....	29
TABLA 9. VALORES DE MÓDULO DE RUPTURA CORRELACIONADOS CON LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DIAMETRAL DE LOS ESPECÍMENES FALLADOS POR EL LANAMMEUCR .....	30
TABLA 10. CONFIGURACIÓN DE GEÓFONOS .....	33
TABLA 11. DESCRIPCIÓN DE LOS TRAMOS ANALIZADOS .....	34
TABLA 12. MÓDULOS SEMILLA PARA EL ANÁLISIS DE RETROCÁLCULO.....	34
TABLA 13. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RETROCÁLCULO .....	35
TABLA 14. CONDICIÓN DE LOS TRAMOS ANALIZADOS.....	35
TABLA 15. EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE CARGA PARA LOS TRAMOS ANALIZADOS .....	38
TABLA 16. CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO SEGÚN EL GRIP NUMBER. ....	40
TABLA 17. CÁLCULO DE PCI PARA CADA UNIDAD DE MUESTRA EVALUADA EN EL PROYECTO. 47	
TABLA 18. CALIFICACIÓN DE PCI PARA EL PROYECTO USANDO LOS DOS ESCENARIOS POSIBLES.....	49

## ÍNDICE DE GRÁFICO

GRÁFICO 1. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE LAS MUESTRAS DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO (RESISTENCIA DE DISEÑO = 40 KG/CM <sup>2</sup> ) PARA EL AÑO 2014, CACISA.....	17
GRÁFICO 2. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL ACUMULADA PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE LAS MUESTRAS DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO (RESISTENCIA DE DISEÑO = 40 KG/CM <sup>2</sup> ) PARA EL AÑO 2014, CACISA.....	18
GRÁFICO 3. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE LAS MUESTRAS DE BASE ESTABILIZADA (RESISTENCIA DE DISEÑO = 40 KG/CM <sup>2</sup> ) PARA EL AÑO 2014, LGC. ....	19

GRÁFICO 4. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL ACUMULADA PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE LAS MUESTRAS DE BASE ESTABILIZADA (RESISTENCIA DE DISEÑO = 40 KG/CM <sup>2</sup> ) PARA EL AÑO 2014, LGC. ....	20
GRÁFICO 5. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DE LAS MUESTRAS DE BASE ESTABILIZADA (RESISTENCIA DE DISEÑO = 40 KG/CM <sup>2</sup> ) PARA EL AÑO 2014, LANAMME .....	21
GRÁFICO 6. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCIÓN A LOS 28 DÍAS PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE LOSA PRINCIPAL DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, PARA EL AÑO 2014, LGC.....	24
GRÁFICO 7. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCIÓN A LOS 28 DÍAS PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE ESTRUCTURAS SECUNDARIAS DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, PARA EL AÑO 2014,LGC.....	25
GRÁFICO 8. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCIÓN A LOS 28 DÍAS PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE LOSA PRINCIPAL DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, PARA EL AÑO 2014,CACISA. ....	25
GRÁFICO 9. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCIÓN A LOS 28 DÍAS PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE ESTRUCTURAS SECUNDARIAS DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, PARA EL AÑOS 2014, CACISA. ....	26
GRÁFICO 10. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCIÓN A LOS 28 DÍAS PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE LOSA PRINCIPAL DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, PARA EL AÑO 2014, LANAMMEUCR.....	26
GRÁFICO 11. VALORES DE MÓDULO DE RUPTURA CORRELACIONADOS CON LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DIAMETRAL DE LOS ESPECÍMENES FALLADOS POR EL LANAMMEUCR .....	31
GRÁFICO 12. VARIACIÓN DEL MÓDULO EN LOS TRAMOS ANALIZADOS .....	36
GRÁFICO 13. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN EL PROYECTO. SENTIDO CAÑAS LIBERIA Y LIBERIA CAÑAS.....	41

## INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.

### EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES, CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LA LOSA DE RODAMIENTO Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS. PROYECTO DE AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO. 1, CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, SECCIÓN CAÑAS-LIBERIA.”

LPI NO. 2011LI-000004-0DI00.

PERIODO DE MUESTREO: AÑO 2014

## 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 DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

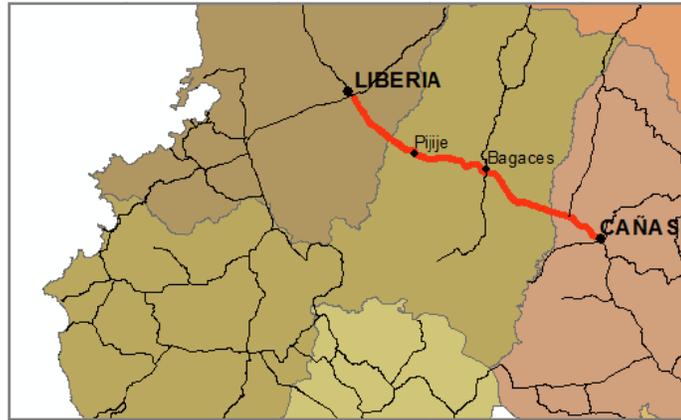
El objetivo de esta Auditoría Técnica realizada en el proyecto “Mejoramiento de la Ruta Nacional No.1, sección Cañas-Liberia”, es dar a conocer a la Administración, desde el punto de vista externo y constructivo, situaciones derivadas del análisis, con relación a la calidad de los materiales colocados en el proyecto, específicamente, la base estabilizada y el concreto del pavimento, así como la integridad estructural de la losa de rodamiento, observados durante las diferentes visitas realizadas por el equipo de Auditoría Técnica al sitio en el año 2014.

Se procura que este informe sea una herramienta que le permita a la Administración evaluar las condiciones en que se ha venido desarrollando el proyecto de manera que pueda contribuir a la toma de decisiones sobre aspectos que se deben considerar tanto en este proyecto, como en futuras obras viales para que se logren ejecutar de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de atrasos en los plazos de conclusión, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles y buscando siempre la calidad requerida y esperada en las obras de acuerdo con las especificaciones establecidas y que justifique la inversión realizada.

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

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y UBICACIÓN

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



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

El monto original del contrato es de  $\text{¢}48.251.641.725,43$  (colones), y el plazo de ejecución inicial es de 730 días naturales contados a partir de la orden de inicio, que según la Orden de Servicio N° 1, se dio el 14 de mayo de 2012. Mediante Orden de Servicio 4 del 21 de febrero del 2014 se amplía el monto del contrato en  $\text{¢}22.505.117.458,38$  (colones), quedando el monto total autorizado en  $70.756.759.183,81$  (colones)

### 4. ANTECEDENTES

Este informe de Auditoría Técnica forma parte de una estrategia de trabajo que se está desarrollando con el proyecto en mención, en donde se están realizando muestreos de materiales y un monitoreo continuo del proyecto desde el segundo semestre de 2012 y hasta la fecha.

Durante el período julio a septiembre de 2012, se realizaron los muestreos y ensayos al material de préstamo del proyecto (Tajo Pijije y Tajo Salitral) donde se estaba extrayendo el material en dicho periodo. Posteriormente, en el periodo de enero a diciembre de 2013 se continuó con el muestreo y ensayo del material de préstamo, incluyéndose el muestreo de material de subbase, base estabilizada y por último el concreto para el pavimento hidráulico.

A manera de antecedentes es importante mencionar que durante ese periodo se realizaron mediciones del perfil longitudinal tanto en secciones del proyecto en base estabilizada y algunas losas de concreto (superficie de ruedo) para realizar el cálculo de índice de regularidad internacional (IRI), las cuales se reportaron a la Administración en las notas informes LM-IC-D-0842-13 y LM-IC-D-0843-13, respectivamente.

En la siguiente tabla se muestran los productos que esta auditoría técnica ha entregado a la Administración con respecto al proyecto en cuestión, en aras de contribuir con el proceso de mejora continua en el desarrollo de proyectos de infraestructura vial del país.

**Tabla 1.** Resumen de los productos de auditoría técnica en el proyecto Cañas-Liberia

Fecha de emisión	Nombre	Tipo de documento
Noviembre 2012	<b>LM-IC-D-1373-12:</b> Observaciones al material de préstamo	Nota Informe
Febrero 2013	<b>LM-PI-AT-130-12:</b> Análisis de la calidad del material de préstamo y evaluación del control de tránsito en obra. Periodo: Junio a Noviembre del 2012	Informe Final
Julio 2013	<b>LM-IC-D-0842-13:</b> Valor del IRI medido y calculado por el LanammeUCR en secciones de base estabilizada.	Nota Informe
Julio 2013	<b>LM-IC-D-0843-13:</b> Valor del IRI medido y calculado por el LanammeUCR en secciones de superficie de ruedo (losa de concreto).	Nota Informe
Julio 2013	<b>LM-PI-AT-047-13:</b> Análisis de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento. Periodo de muestreo: Enero a Marzo 2013	Informe Final
Enero 2014	<b>LM-PI-AT-066-13:</b> Análisis de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento. Periodo de muestreo: Abril a Junio 2013	Informe Final
Febrero 2014	<b>LM-IC-D-0117-14:</b> Análisis de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento. Periodo de muestreo: Julio a Octubre 2013	Nota Informe
Mayo 2014	<b>LM-PI-AT-29-14:</b> Análisis general de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento rígido. periodo de muestreo: año 2013.	Informe Final
Enero 2015	<b>LM-AT-01-15:</b> Valor del IRI medido y calculado por el LanammeUCR en secciones de superficie de ruedo (losa de concreto).	Nota Informe
Febrero 2015	<b>LM-PI-AT-62-14:</b> Evaluación de la calidad de los materiales y procesos constructivos proyecto: Diseño y Construcción de 18 Puentes en la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, Sección: Cañas-Liberia"	Informe Final
Febrero 2015	<b>LM-AT-38-15:</b> Cálculo de multas estimado a partir del Valor del IRI medido y calculado por el LanammeUCR en secciones de superficie de ruedo (losa de concreto).	Nota Informe
Marzo 2015	<b>LM-AT-45-15:</b> Análisis del espesor de grietas en las barreras de contención tipo New Jersey	Nota

Adicionalmente, en la siguiente tabla se detallan la cantidad de muestras e informes de laboratorio realizados por el LanammeUCR para los materiales de base estabilizada y concreto del pavimento rígido realizados durante el año 2014.

**Tabla 2.** Número de Informes y muestra por material analizado

Material	Cantidad de informes	Cantidad de Muestras
Base Estabilizada	6	6
Concreto	7	7

## 5. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

El período de muestreo abarcó todo el año 2014, contando con la colaboración de los laboratorios del LanammeUCR. Se realizaron los muestreos y ensayos a los diferentes materiales de base estabilizada y concreto del proyecto de ampliación y rehabilitación sobre la Ruta Nacional N° 1, sección: Cañas-Liberia. Todos los muestreos de los materiales se realizaron en campo, tanto de materiales colocados en el proyecto, así como de materiales que se encontraban en proceso de colocación.

Cabe recalcar que en la mayoría de los muestreos realizados por el laboratorio de campo del LanammeUCR coincidieron con la presencia del personal del laboratorio de control de calidad "L.G.C. Ingeniería en Pavimentos" y del laboratorio de verificación de calidad "Caciza & Euroestudios" que realizaron sus muestreo respectivos.

## 6. ALCANCE DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

El alcance de esta Auditoría Técnica se centró en presentar un análisis general que resuma el comportamiento general y los resultados de las muestras del material de base estabilizada y del concreto para el pavimento del proyecto de ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, sección: Cañas-Liberia en el periodo de muestreo que comprende el año 2014, comunicado previamente.

Es importante aclarar que la toma de muestras del proyecto por parte de la Auditoría Técnica dentro del proceso de fiscalización, no tiene como finalidad cumplir la función del control ni la verificación de calidad y tampoco le corresponde a esta Auditoría Técnica, realizar evaluaciones exhaustivas a nivel de proyecto que son de competencia propia de la Administración, no obstante la Unidad de Auditoría Técnica sí se asegura de realizar muestreos aleatorios y no sesgados. El presente informe no pretende ser un dictamen final de la calidad del proyecto sobre la Ruta Nacional No 1, sección: Cañas-Liberia, sino un insumo para que la Administración realice una revisión de los resultados obtenidos por el LanammeUCR, en contraste con los controles propios, tanto de la verificación como del control de calidad por parte del contratista, controles que deben existir en todo proyecto de obra vial.

Por otro lado, se reitera que la Auditoría Técnica corresponde a una descripción de los hechos observados en un momento determinado. Es un instrumento específico del proyecto, los datos presentados en los informes emitidos por esta unidad sirven como referencia para que la Administración tome las acciones correctivas respectivas, máxime que el proyecto en

cuestión se encuentra en proceso constructivo. La determinación del cumplimiento contractual y corrección de defectos o aplicación de multas corresponde a la Administración.

## 7. RESPONSABLES DEL PROYECTO

### a) Responsables por parte de la Administración:

- Entidad ejecutora del contrato: Unidad Ejecutora PIV-1, CONAVI
- Laboratorio de Verificación de Calidad, por parte de la Administración: la verificación de calidad está a cargo del Consorcio Supervisor de Infraestructura Cacisa & Euroestudios (C&E) que es el organismo de ensayo encargado de efectuar los ensayos de verificación de calidad a los materiales y procesos constructivos que realiza el Contratista en este proyecto.

### b) Responsables por parte de la empresa constructora:

- Contratista: La empresa Contratista "Consortio FCC-Interamericana Norte", adjudicataria de la Licitación Pública No LPI No. 2011LI-000004-ODI00 Proyecto: Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas-Liberia
- Laboratorio de Autocontrol de Calidad: el consultor de calidad del Contratista y laboratorio de autocontrol es el organismo de ensayo LGC Ingeniería de Pavimentos SA, quien es la empresa encargada de efectuar los ensayos de control de calidad a los materiales y procesos constructivos que realiza el Contratista en este proyecto, así como el diseño de la base estabilizada.

## 8. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR

- Ing. Luís Guillermo Loria Salazar. PhD (Coordinador General del Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA-LanammeUCR )
- Ing. Wendy Sequeira Rojas (Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica PITRA-LanammeUCR)
- Ing. Víctor Cervantes Calvo (Auditor Técnico Adjunto)
- Ing. Francisco Fonseca Chaves. (Auditor Técnico Líder)
- Lic. Miguel Chacón Alvarado (Asesor Legal)

## 9. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSION PRELIMINAR LM-PI-AT-015B-15

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-137-15 de 21 de octubre de 2015 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-015B-15 a la parte auditada para que sea analizado y de requerirse, se proceda a esclarecer aspectos que no hayan sido considerados durante el proceso de ejecución de la auditoría, por lo que se otorga un plazo

de 15 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe para el envío de comentarios al informe preliminar. Dicho plazo se extendía hasta el 11 de noviembre de 2015.

Como parte del proceso de Auditoría se propone una reunión el lunes 2 de noviembre con el auditado la cual no se realiza por la ausencia de los funcionarios de Conavi y los auditados. A la fecha del 12 de noviembre no hay descargo del informe preliminar por lo que se emite el informe en su versión final.

## 10. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Todos los hallazgos y observaciones declarados por el equipo de auditoría técnica en este informe de auditoría técnica se fundamentan en evidencias representativas, veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría técnica, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de las mediciones realizadas 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.

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

### A. SOBRE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO

#### Hallazgo 1. Los valores de resistencia obtenidos para la base estabilizada BE-35 incumplen el promedio indicado en el LM-PI-044-12.

A partir de los resultados de verificación de la calidad y de control de calidad de los laboratorios del proyecto se procedió a realizar un análisis estadístico para determinar la conformidad de la base estabilizada BE-35 del proyecto, Además se presentan los valores de resistencia obtenidos por el LanammeUCR para los especímenes de base estabilizada recolectados en el periodo de estudio (año 2014).

A manera de antecedente cabe recalcar que el criterio del LanammeUCR en cuanto al tema de resistencia a la compresión para bases estabilizadas, queda expresado en el oficio LM-PI-044-12 emitido el 07 de mayo de 2012 al señor Director Ejecutivo de CONAVI, Ing. José Luis Salas Quesada.

A saber, pese a no expresarse claramente en la especificación especial del cartel de licitación del proyecto un límite superior, con cálculos estadísticos elementales es posible

inferir a partir de los límites anteriormente indicados un valor máximo y una desviación estándar asociada que permita cumplir simultáneamente ambos requisitos de resistencia a la compresión de bases estabilizadas con cemento, ya sea para el promedio y el valor mínimo indicados.

Los criterios anteriormente expresados se utilizaron en el análisis de los resultados obtenidos en el presente informe de auditoría (LM-AT-015-15), donde se precisó un valor máximo de resistencia a la compresión para bases estabilizadas BE-35 de 50 kg/cm<sup>2</sup>, y a partir de este valor calculado se determinó el cumplimiento de la especificación del Cartel de Licitación del proyecto en estudio.

Es importante recalcar que en la sección VI. *Requisitos de las obras* del Cartel de Licitación, en el apartado *Especificaciones de la base mejorada*, se puede observar una tabla donde se muestran los valores de resistencia mínima y promedio a los 7 días (30 y 40 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente). Es criterio de esta Auditoría que el valor promedio indicado de 40 kg/cm<sup>2</sup>, hace referencia a la media de los datos analizados y no a un valor mínimo. Esto en relación a la descripción realizada anteriormente.

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para el año 2014 por parte de la verificadora de calidad (CACISA) para la resistencia a la compresión a los 7 días de la base estabilizada con cemento. En cuanto a este análisis de resistencia se revisan los dos criterios, el antes mencionado y un segundo sin establecer el límite superior para el valor de resistencia a la compresión.

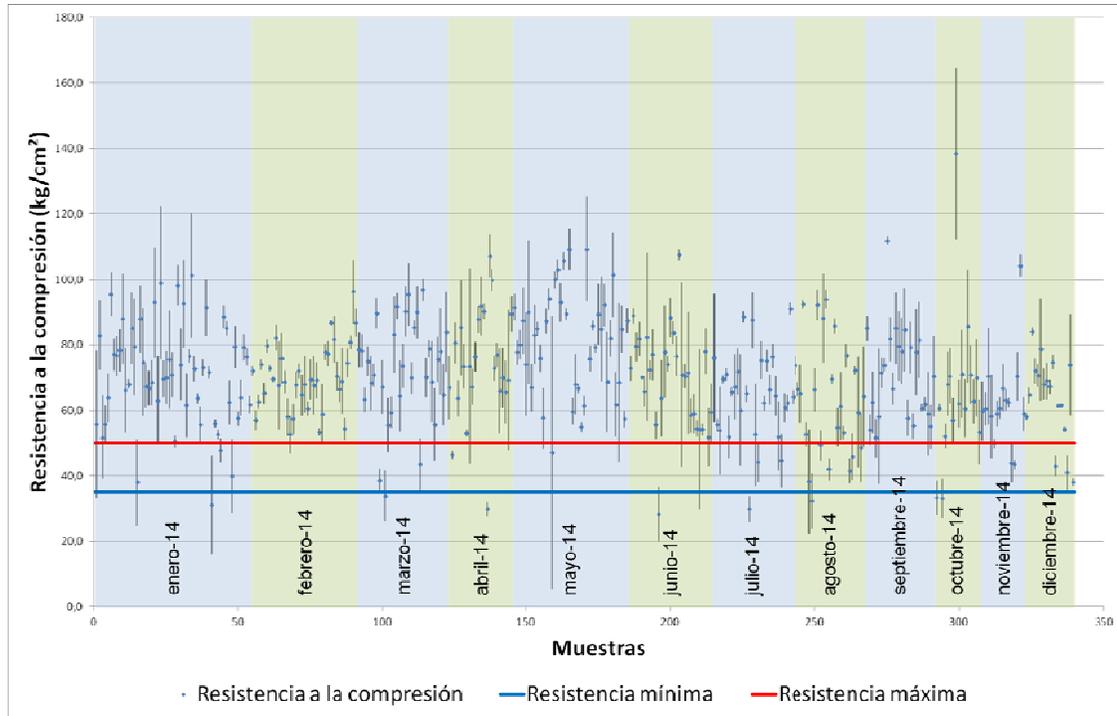
**Tabla 3.** Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimados para la resistencia a compresión a los 7 días de las muestras de base estabilizada (resistencia de diseño = 40 kg/cm<sup>2</sup>) para el año 2014, CACISA.

Mes	Cantidad de datos n	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido <sup>1</sup>
enero-14	54	91,87%	31,97%
febrero-14	37	97,41%	34,83%
marzo-14	31	92,76%	36,17%
abril-14	23	92,89%	38,44%
mayo-14	40	97,52%	34,24%
junio-14	29	91,59%	36,68%
julio-14	28	86,91%	36,94%
agosto-14	25	83,25%	37,80%
septiembre-14	24	93,22%	38,11%
octubre-14	16	84,80%	41,19%
noviembre-14	15	83,47%	41,67%
diciembre-14	17	86,33%	40,73%
<b>TOTAL 2014</b>	339	90,94%	30,00%

<sup>1</sup> Este valor depende del número de muestras evaluadas

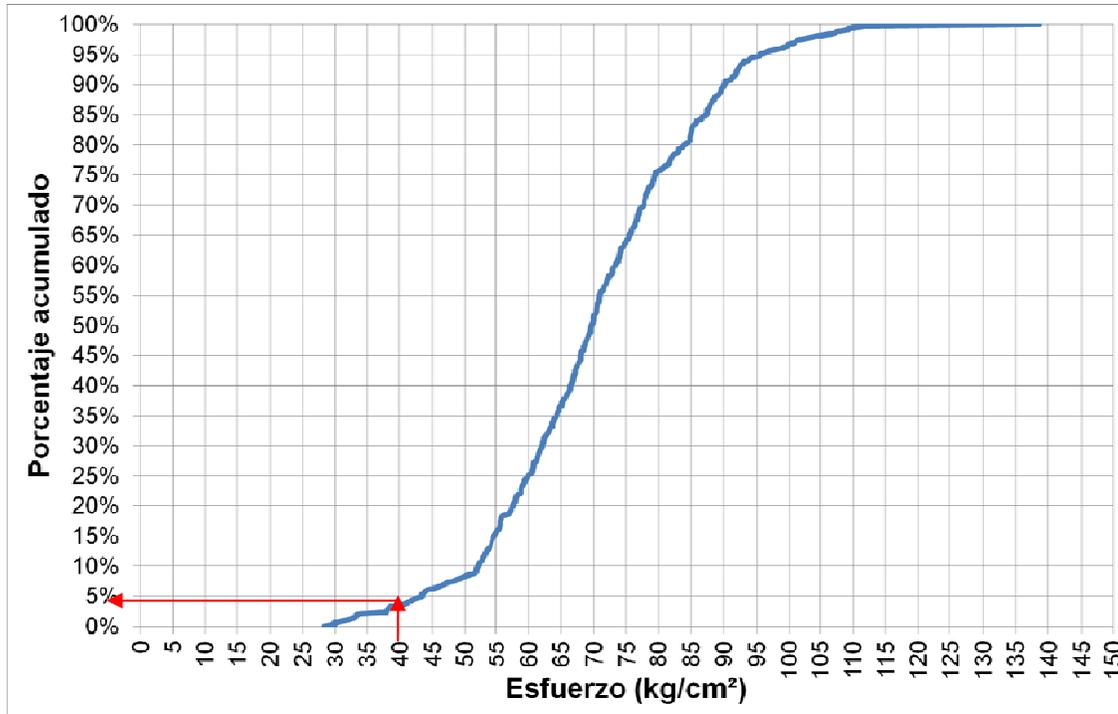
Como se puede observar en los resultados de la Tabla 3, cuando se realiza el análisis estadístico en el caso de la resistencia a la compresión de la base estabilizada, para verificar los porcentajes fuera de los límites establecidos, utilizando el criterio del LanammeUCR donde se establece un límite máximo, los porcentajes fuera de los límites sobrepasan significativamente al porcentaje máximo permitido en todos los meses del año 2014.

En el Gráfico 1 se observan los datos individuales para el año 2014 de las muestras de base estabilizada del proyecto.



**Gráfico 1.** Resultados de resistencia a compresión a los 7 días de las muestras de base estabilizada con cemento (resistencia de diseño = 40 kg/cm<sup>2</sup>) para el año 2014, CACISA.

En el Gráfico 2 se muestra que para este laboratorio sólo el 5% de las muestras ensayadas se encuentran en un valor de resistencia igual a menor al de 40kg/cm<sup>2</sup> cuando deberían de estar cercano al 50%.



**Gráfico 2.** Distribución porcentual acumulada para la resistencia a la compresión a los 7 días de las muestras de base estabilizada con cemento (resistencia de diseño = 40 kg/cm<sup>2</sup>) para el año 2014, CACISA.

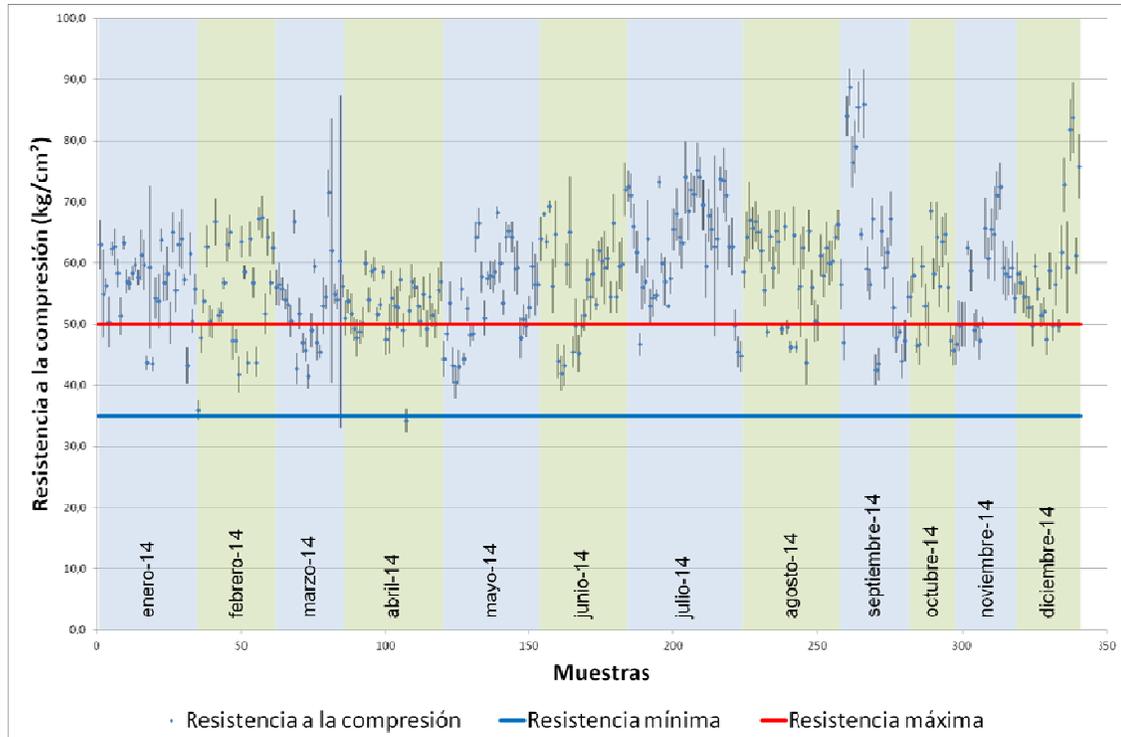
En la Tabla 4 se presentan los resultados de los valores obtenidos para el laboratorio de LGC el cual es el encargado del control de calidad por parte del contratista. Se puede observar que los porcentajes estimados fuera de los límites son mayores a los permitidos para todos los meses del año 2014.

**Tabla 4.** Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimados para la resistencia a compresión a los 7 días de las muestras de base estabilizada (resistencia de diseño = 40 kg/cm<sup>2</sup>) para el año 2014, LGC.

Mes	Cantidad de datos n	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido <sup>1</sup>
enero-14	34	87,42%	35,47%
febrero-14	27	73,72%	37,22%
marzo-14	24	70,27%	38,11%
abril-14	34	70,35%	35,47%
mayo-14	34	74,36%	35,47%
junio-14	30	81,23%	36,42%
julio-14	40	93,58%	34,24%
agosto-14	34	89,43%	35,47%
septiembre-14	24	82,65%	38,11%
octubre-14	16	78,84%	41,19%
noviembre-14	21	82,39%	39,12%
diciembre-14	22	82,55%	38,77%
<b>TOTAL 2014</b>	340	<b>80,39%</b>	30,00%

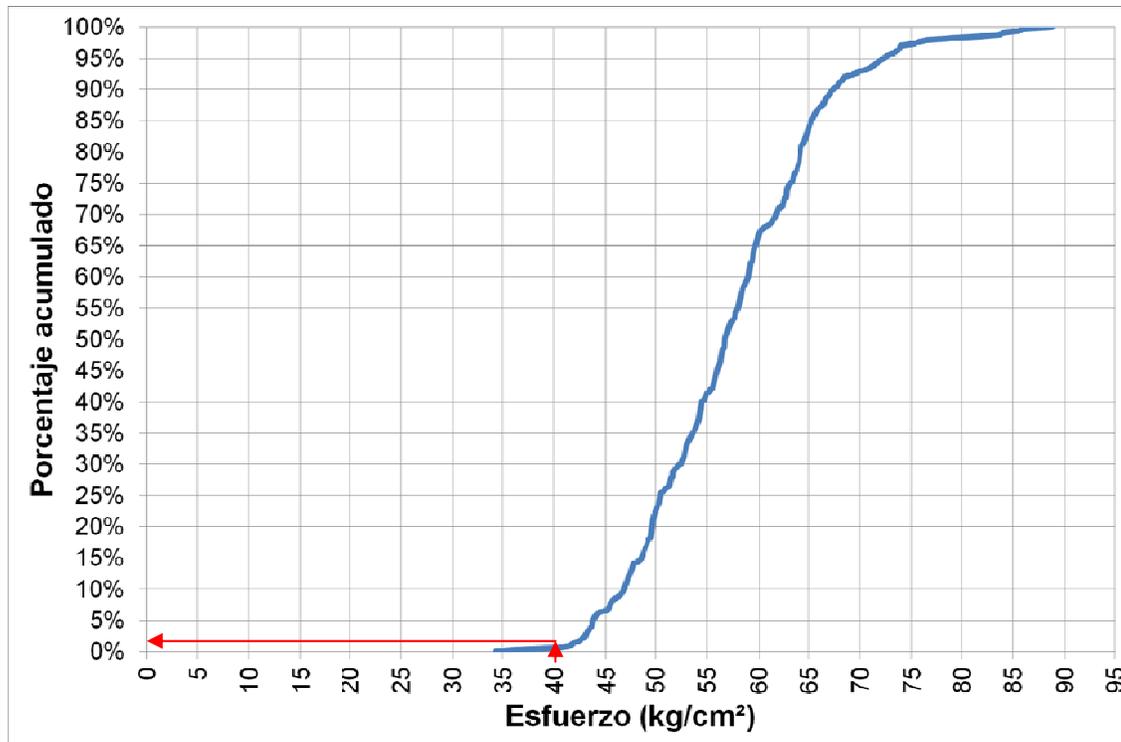
<sup>1</sup> Este valor depende del número de muestras evaluadas

En el Gráfico 3 se muestran los datos individuales para el año 2014 del laboratorio de control de calidad, LGC.



**Gráfico 3.** Resultados de resistencia a compresión a los 7 días de las muestras de base estabilizada (resistencia de diseño = 40 kg/cm<sup>2</sup>) para el año 2014, LGC.

Además en el Gráfico 4 se observan los valores acumulados de los datos del laboratorio de control de calidad para el periodo de estudio. En este gráfico se observa que el valor de 40 kg/cm<sup>2</sup>, el cual es el valor promedio esperado, llega a un 2%.



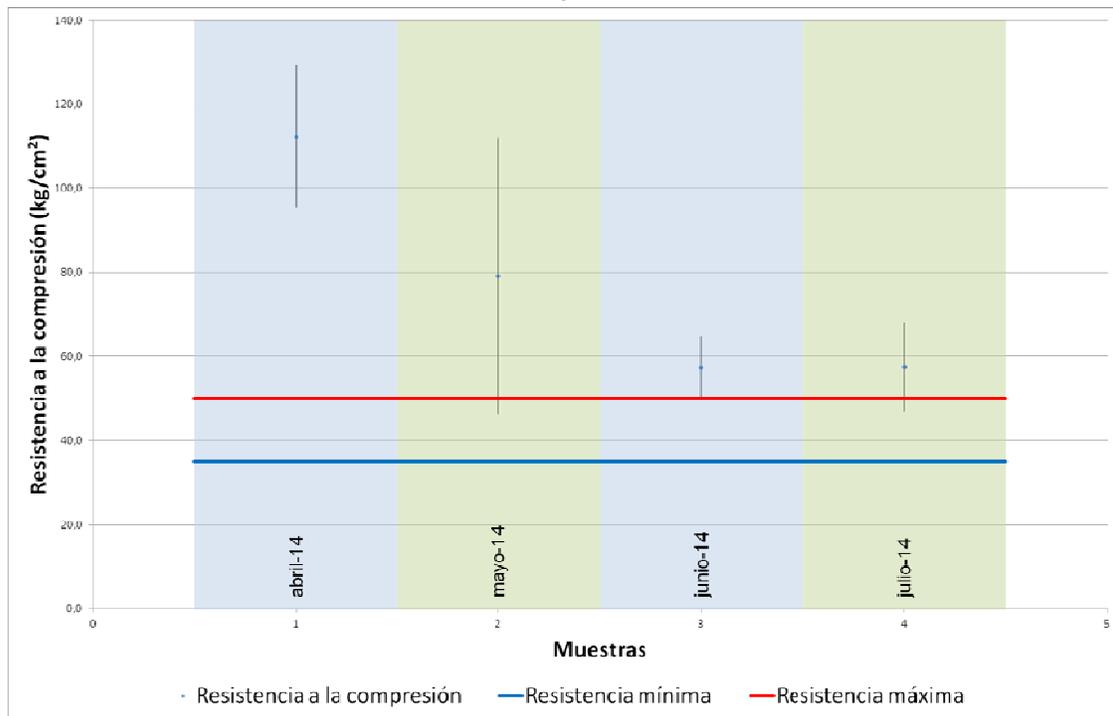
**Gráfico 4.** Distribución porcentual acumulada para la resistencia a la compresión a los 7 días de las muestras de base estabilizada (resistencia de diseño = 40 kg/cm<sup>2</sup>) para el año 2014, LGC.

Finalmente, se presentan los datos obtenidos por el Lanamme para las muestras ensayadas en la Tabla 5. A pesar de que sólo se tomaron 4 muestras se observa que el comportamiento es similar al observado en los otros laboratorios en el cual se observa un porcentaje estimado fuera de los límites bastante alto. Debido a la cantidad de datos no es posible estimar un máximo porcentaje permitido fuera de los límites.

**Tabla 5.** Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimados para la resistencia a compresión a los 7 de las muestras de base estabilizada (resistencia de diseño = 35 kg/cm<sup>2</sup>) para el año 2014, Lanamme.

Mes	Cantidad de datos n	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido
abril-14	1	-	-
mayo-14	1	-	-
junio-14	1	-	-
julio-14	1	-	-
<b>TOTAL 2014</b>	4	91,32%	-

En el Gráfico 5 se observan los valores individuales obtenidos por el Lanamme para el periodo de estudio.



**Gráfico 5.** Resultados de resistencia a compresión a los 7 de las muestras de base estabilizada (resistencia de diseño = 40 kg/cm<sup>2</sup>) para el año 2014, Lanamme

De análisis realizado se evidencia la importancia de realizar una adecuada formulación del diseño de la base estabilizada para encontrar el porcentaje óptimo de cemento que se le debe agregar al material a estabilizar, de manera que se pueda alcanzar la resistencia requerida con la cantidad mínima cemento posible, para así hacer un uso eficiente en el uso de los recursos. Es criterio de esta Auditoría que, para proyectos futuros, se debe implementar una metodología para evaluar este límite con el fin de mejorar el rendimiento del material y por consiguiente asegurar un buen desempeño del proyecto.

Altas resistencias a la compresión de la capa de base estabilizada podría provocar un riesgo latente de agrietamiento en esta capa. Cabe recalcar que la literatura señala que para valores altos de resistencia a la compresión de la capa de base estabilizada podría conducir a que presente agrietamientos por contracción (Halsted, Luhr, & Adaska, 2006). Como

consecuencia a este agrietamiento para el desempeño estructural del pavimento rígido, existe el riesgo que se produzca una disminución del módulo de reacción (k) a raíz de existir una capa de soporte (en este caso la base estabilizada con cemento) más erosionable, que en el mediano y largo plazo, afectaría el desempeño por erosión y el pavimento sería propenso a una falla de agrietamiento en la esquina.

**Hallazgo 2. El concreto con módulo de ruptura de 50 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días cumple con las especificaciones de resistencia establecidas en el Manual de especificaciones para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010.**

Con la información obtenida de los laboratorios de control y verificación de calidad realizados al material muestreado en el proyecto, así como resultados obtenidos por el laboratorio de LanammeUCR, en el año 2014, presentados en la Tabla 6 y Tabla 7, se establece que el material cumple en general con los requisitos establecidos en el Cartel de Licitación del proyecto, para el parámetro de módulo de ruptura. Es importante señalar que los datos de la Tabla 6 corresponden a los resultados a la losa principal y los de la Tabla 7 a los resultados para las estructuras secundarias.

Con respecto a los datos evaluados por el laboratorio del LanammeUCR, es importante señalar que sólo se realizaron muestreos en la losa principal como se puede observar en las Tablas 6 y 7.

**Tabla 6.** Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimados para la resistencia a la flexo tracción de las muestras de concreto de losa principal

Mes	Cantidad de datos n			Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)			Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%) <sup>1</sup>		
	LGC	CACISA	Lanamme	LGC	CACISA	Lanamme	LGC	CACISA	Lanamme
Enero	16	78	0	1,15%	2,72%	-	41,19%	30,00%	-
Febrero	35	68	0	1,91%	3,57%	-	35,25%	30,22%	-
Marzo	19	50	2	3,43%	6,02%	41,71%	39,88%	32,55%	-
Abril	19	54	0	12,84%	5,91%	-	39,88%	31,97%	-
Mayo	20	41	0	14,42%	1,18%	-	39,49%	34,05%	-
Junio	23	43	1	5,86%	0,98%	-	38,44%	33,69%	-
Julio	11	19	1	9,31%	1,18%	-	44,03%	39,88%	-
Agosto	22	40	0	7,21%	0,02%	-	38,77%	34,24%	-
Septiembre	22	30	1	2,45%	0,27%	-	38,77%	36,42%	-
Octubre	21	20	2	7,60%	2,79%	44,21%	39,12%	39,49%	-
Noviembre	9	7	0	14,01%	6,37%	-	45,55%	47,45%	-
<b>TOTAL ene-nov 2014</b>	217	450	7	6,50%	3,38%	34,71%	30,00%	30,00%	47,45%

Nota: "-" No se cuenta con suficientes datos para realizar análisis estadístico

<sup>1</sup> Este valor depende del número de muestras evaluadas

Resistencia medida a la flexo-tracción a los 28 días

**Tabla 7.** Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimados para la resistencia a la flexo tracción de las muestras de concreto de estructuras secundarias<sup>1</sup>

Mes	Cantidad de datos n		Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)		Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%) <sup>2</sup>	
	LGC	CACISA	LGC	CACISA	LGC	CACISA
Enero	6	5	18,11%	9,14%	48,62%	50,00%
Febrero	11	21	12,04%	10,01%	44,03%	39,12%
Marzo	23	21	19,86%	6,09%	38,44%	39,12%
Abril	20	17	26,18%	31,07%	39,49%	40,73%
Mayo	11	15	7,10%	0,94%	44,03%	41,67%
Junio	17	24	13,12%	3,35%	40,73%	38,11%
Julio	44	58	9,49%	3,46%	33,52%	31,43%
Agosto	23	29	7,52%	9,45%	38,44%	36,68%
Septiembre	16	17	12,83%	5,55%	41,19%	40,73%
Octubre	14	12	12,06%	6,90%	42,20%	43,37%
Noviembre	9	6	13,96%	25,05%	45,55%	48,62%
<b>TOTAL ene-nov 2014</b>	194	225	13,37%	8,65%	30,00%	30,00%

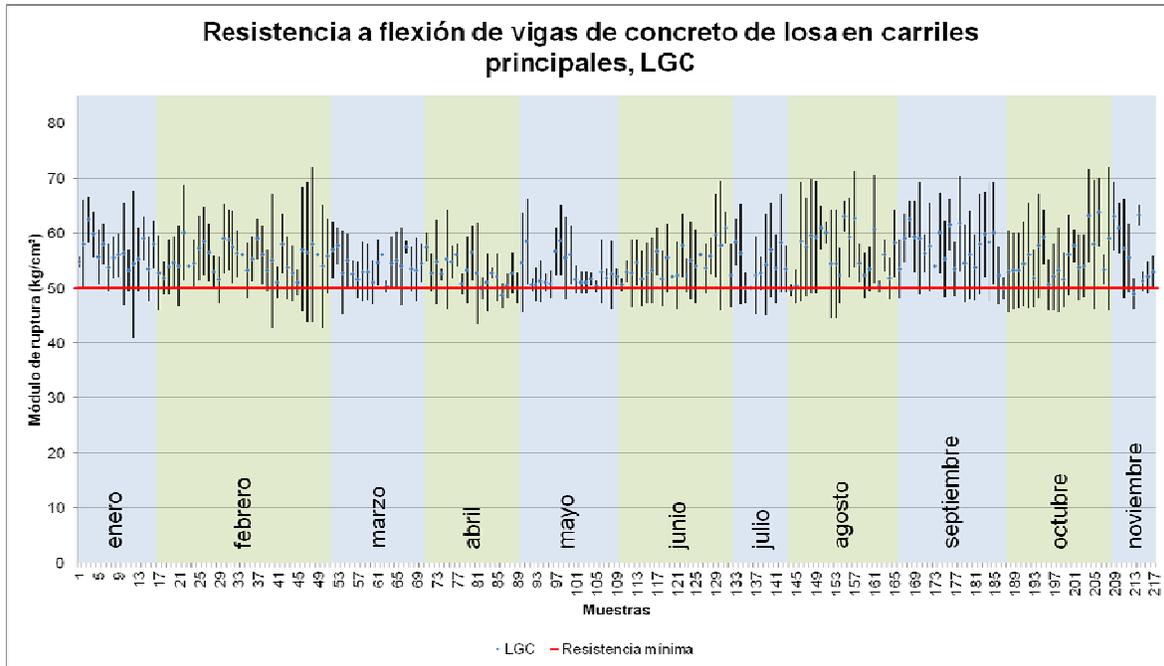
Nota: "- " No se cuenta con suficientes datos para realizar análisis estadístico

<sup>1</sup> El Lanamme no tomo muestras de concreto de las estructuras secundarias

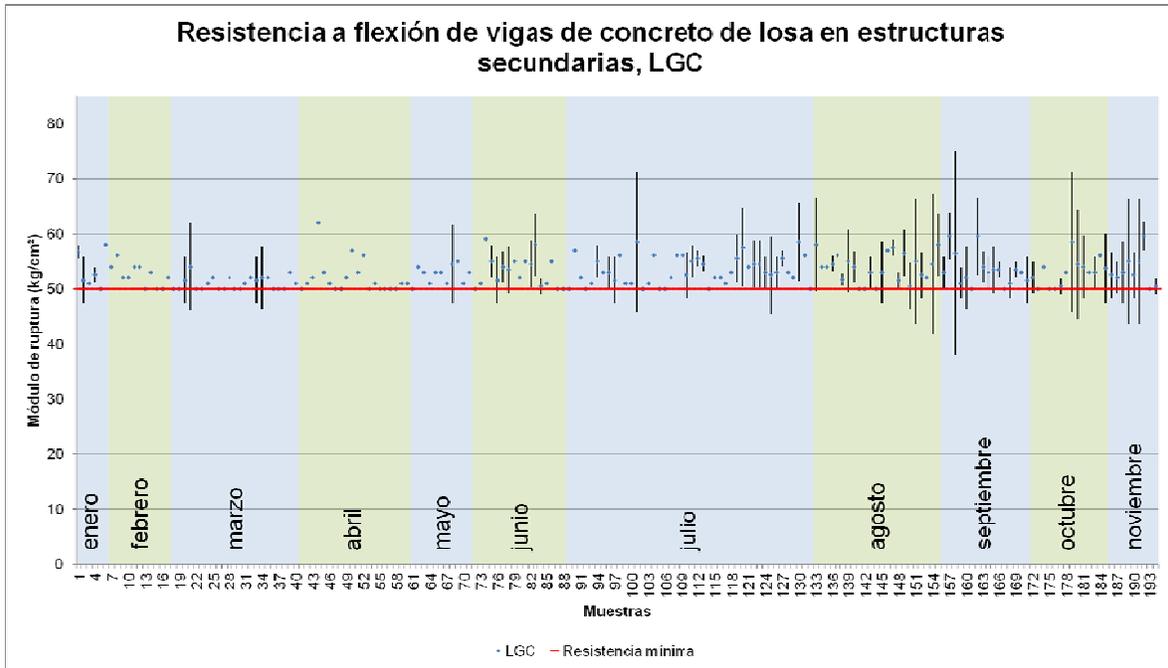
<sup>2</sup> Este valor depende del número de muestras evaluadas

Resistencia medida a la flexo-tracción a los 28 días

En el Gráfico 6 se puede observar los resultados de resistencia a la flexo-tracción para el concreto del pavimento rígido de losa principal según el laboratorio de autocontrol de la calidad. Los datos en el Gráfico 7 corresponden a los resultados a la flexo tracción de las estructuras secundarias para el laboratorio de autocontrol de calidad.

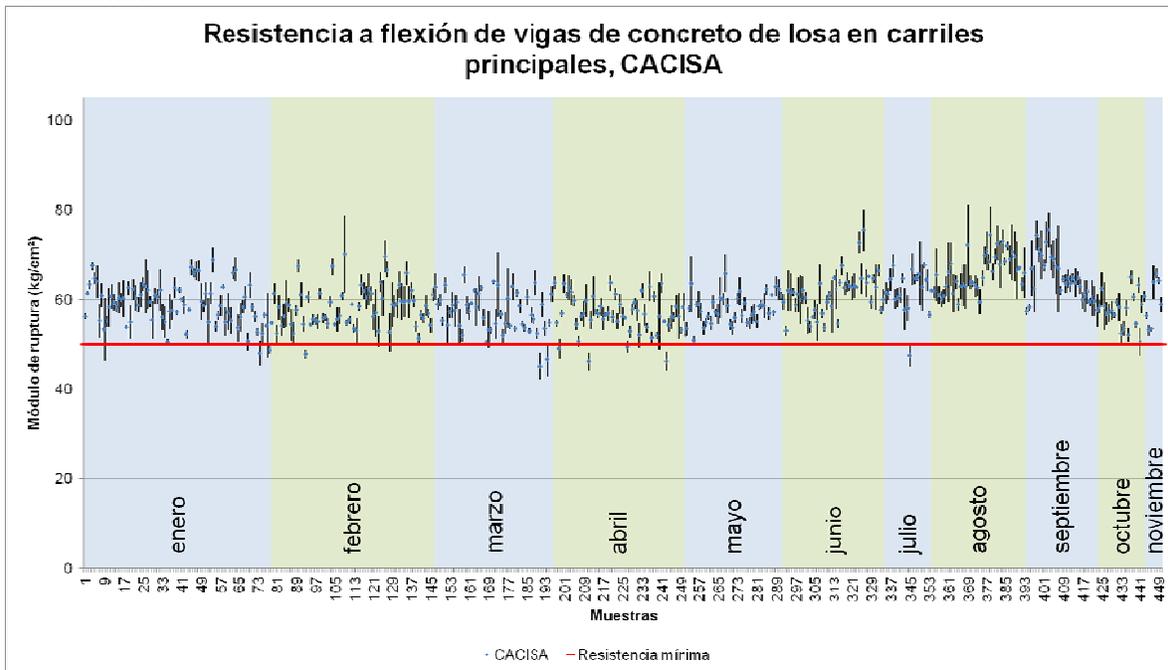


**Gráfico 6.** Resultados de resistencia a la flexo-tracción a los 28 días para las muestras de concreto de losa principal del proyecto Cañas-Liberia, para el año 2014, LGC.

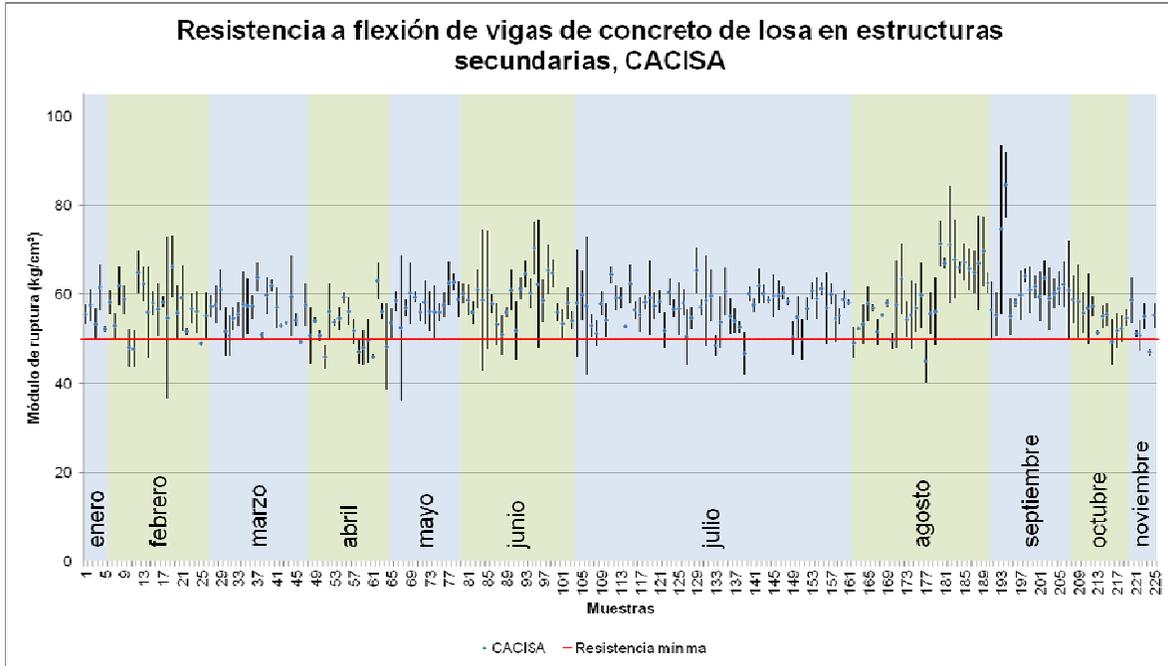


**Gráfico 7.** Resultados de resistencia a la flexo-tracción a los 28 días para las muestras de concreto de estructuras secundarias del proyecto Cañas-Liberia, para el año 2014,LGC.

En el Gráfico 8 se pueden encontrar los resultados individuales del laboratorio de verificación de la calidad para la losa principal para el parámetro de flexo tracción a los 28 días. En el Gráfico 9 se observan los resultados para las estructuras secundarias para este mismo laboratorio.

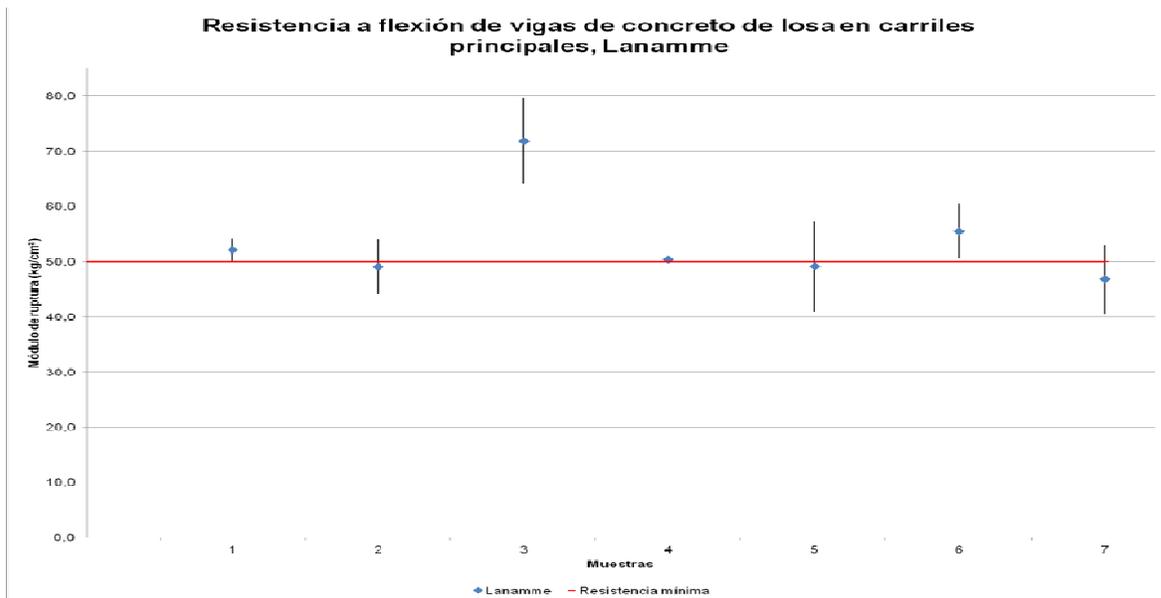


**Gráfico 8.** Resultados de resistencia a la flexo-tracción a los 28 días para las muestras de concreto de losa principal del proyecto Cañas-Liberia, para el año 2014,CACISA.



**Gráfico 9.** Resultados de resistencia a la flexo-tracción a los 28 días para las muestras de concreto de estructuras secundarias del proyecto Cañas-Liberia, para el año 2014, CACISA.

Finalmente, en el Gráfico 10 se muestran los resultados obtenidos por el Lanamme para el ensayo de flexotración. a los 28 días. Para este material solo se tomaron muestras de la losa principal.



**Gráfico 10.** Resultados de resistencia a la flexo-tracción a los 28 días para las muestras de concreto de losa principal del proyecto Cañas-Liberia, para el año 2014, LanammeUCR.

## B. SOBRE LOS DE LA REPARACIÓN DE LA LOSA DE RODAMIENTO

### Hallazgo 3. Las reparaciones realizadas por el contratista en las grietas de las losas de concreto recuperan la capacidad estructural del material

Durante la gira realizado el 3 y 4 de marzo del presente año, el equipo auditor evidenció la presencia de grietas en algunas de las losas de concreto que se encontraban coladas en el proyecto Cañas Liberia. Debido a las mencionadas grietas el contratista procedió a repararlas mediante la aplicación de epóxico, el cual era inyectado con el fin de asegurar el llenado a profundidad de las grietas, como se puede observar en la Fotografía 1 y 2. Esto se pudo corroborar en una gira realizada por el equipo auditor el 16 y 17 de julio.



**Fotografía 1 y 2.** Proceso de reparación de grietas. Estacionamiento 199+950. Fecha 16 de Julio de 2014. Fuente: LanammeUCR

Durante esta gira también se pudo evidenciar que la supervisión del proyecto estaba realizando extracción de núcleos en los puntos donde se ubicaban las grietas reparadas (ver Fotografía 3). Esto se pudo confirmar por la Unidad Ejecutora del Proyecto mediante oficio UE-2014-2232 del 29 de agosto de 2014 en respuesta a oficio de esta Auditoría Técnica LM-AT-89-14, en el cual se muestra el ensayo de compresión axial que se le realiza a los núcleos, tal como se muestra en la Fotografía 4.



**Fotografía 3 y 4.** Proceso de reparación de grietas y de fallas de núcleos por la Supervisión del Proyecto. Fecha: 15 de mayo de 2014 Fuente: LanammeUCR y Oficio: UE-2014-2232

Según el inspector encargado de la actividad de reparación y el gerente de proyecto, el criterio de aceptación de los especímenes es que la falla no se dé por donde se encuentra la grieta.

Con el fin de poder determinar los resultados de las reparaciones realizadas, el LanammeUCR procedió a realizar extracción de núcleos en las zonas que fueron reparadas por el contratista. Adicionalmente, se extrajeron especímenes de zonas que estuvieran sanas. Durante la extracción de los núcleos estuvo presente personal de la supervisora del proyecto.



**Fotografía 5 y 6.** Proceso de extracción de núcleos por el LanammeUCR. Estacionamiento: 198+120 Fecha: 20 de agosto de 2014. Fuente: LanammeUCR

Los especímenes obtenidos por el LanammeUCR fueron fallados mediante el ensayo a tensión diametral (ensayo de Tensión brasileña), como se puede observar en las Fotografías 7 y 8. Esto se realizó ya que a criterio del equipo auditor emula mejor las condiciones que debe soportar el concreto durante su uso en el pavimento.



**Fotografía 7 y 8.** Proceso de falla de núcleos por el LanammeUCR. Fecha 1 y 2 de setiembre de 2014. Fuente: LanammeUCR

Además, como ya se mencionó, se muestrearon especímenes sanos, los cuales no presentaban agrietamiento. Esto se realizó con el objetivo de tener valores comparativos de condiciones reparadas y sin agrietar para poder determinar si la reparación cumple con el objetivo de mantener la integridad estructural del material. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para los núcleos fallados.

**Tabla 8.** Valores de resistencia a la tensión diametral de los especímenes fallados por el LanammeUCR

Especímen N°	Relación L/D	Carga máxima (N)	Resistencia a la tensión diametral		Condición
			(Mpa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )	
1868-14	2,10	113	3,53	36,0	Reparado
1869-14	2,10	137	4,69	47,8	Reparado
1870-14	2,10	124	4,26	43,4	Reparado
1871-14	2,10	131	4,49	45,8	Reparado
1872-14	2,04	124	4,37	44,6	Reparado
1873-14	1,97	125	4,67	47,7	Sano
1874-14	2,10	133	4,54	46,3	Reparado
1875-14	2,10	134	4,58	46,7	Reparado
1876-14	2,11	144	4,92	50,2	Reparado
1877-14	2,05	132	4,64	47,3	Reparado

Especimen N°	Relación L/D	Carga máxima (N)	Resistencia a la tensión diametral		Condición
			(Mpa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )	
1878-14	2,01	107	3,85	39,2	Reparado
1879-14	1,73	107	4,48	45,7	Sano
1880-14	2,10	113	3,88	39,5	Reparado
1881-14	2,11	159	5,42	55,3	Reparado
1882-14	2,10	111	3,83	39,0	Reparado
1883-14	2,10	114	3,91	39,9	Sano
1884-14	1,20	83	5,04	51,4	Reparado
<b>Promedio Sanos</b>			4,35	44,4	
<b>Promedio Reparados</b>			4,43	45,2	

Según se puede observar en la Tabla 8, el promedio de los valores de resistencia a la tensión diametral de los núcleos que presentaban agrietamientos y que fueron reparados con epóxico es similar al promedio de resistencia de los núcleos sanos, lo cual permite inferir que la reparación realizada es efectiva.

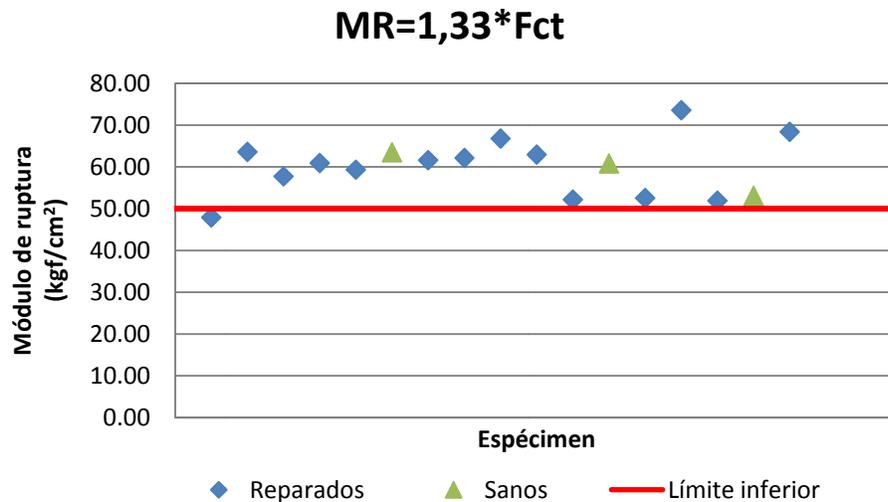
Finalmente, con el fin de determinar si el módulo de ruptura cumple para las muestras ensayadas, se utiliza la correlación presentada en el libro Tecnología de Concreto de Adam Neville donde se recomienda multiplicar el valor de resistencia a tensión diametral por un factor de 1,33 para obtener el módulo de ruptura (Neville, 2010). Con este factor tenemos los siguientes resultados.

**Tabla 9.** Valores de módulo de ruptura correlacionados con la resistencia a la tensión diametral de los especímenes fallados por el LanammeUCR

Especimen N°	Relación L/D	Carga máxima (N)	Resistencia a la tensión diametral		MR = 1,33*Fct (kgf/cm <sup>2</sup> )	Condición
			(Mpa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )		
1868-14	2,10	113	3,53	36,0	47,88	Reparado
1869-14	2,10	137	4,69	47,8	63,57	Reparado
1870-14	2,10	124	4,26	43,4	57,72	Reparado
1871-14	2,10	131	4,49	45,8	60,91	Reparado
1872-14	2,04	124	4,37	44,6	59,32	Reparado
1873-14	1,97	125	4,67	47,7	63,44	Sano
1874-14	2,10	133	4,54	46,3	61,58	Reparado
1875-14	2,10	134	4,58	46,7	62,11	Reparado
1876-14	2,11	144	4,92	50,2	66,77	Reparado
1877-14	2,05	132	4,64	47,3	62,91	Reparado
1878-14	2,01	107	3,85	39,2	52,14	Reparado

Especímen N°	Relación L/D	Carga máxima (N)	Resistencia a la tensión diametral		MR = $1,33 \cdot F_{ct}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Condición
			(Mpa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )		
1879-14	1,73	107	4,48	45,7	60,78	Sano
1880-14	2,10	113	3,88	39,5	52,54	Reparado
1881-14	2,11	159	5,42	55,3	73,55	Reparado
1882-14	2,10	111	3,83	39,0	51,87	Reparado
1883-14	2,10	114	3,91	39,9	53,07	Sano
1884-14	1,20	83	5,04	51,4	68,36	Reparado

Estos resultados se presentan en el Gráfico 11. Como se puede observar los resultados son similares para los especímenes sanos y los especímenes reparados con el epóxico.



**Gráfico 11.** Valores de módulo de ruptura correlacionados con la resistencia a la tensión diametral de los especímenes fallados por el LanammeUCR

De los resultados mostrados se observa que prácticamente todos los núcleos fallados cumplen con el valor de módulo de ruptura especificado para el proyecto, por lo que es criterio del equipo auditor que las reparaciones realizadas por el contratista en las grietas de las losas de concreto recuperan la capacidad estructural del material.

#### Hallazgo 4. Las reparaciones realizadas por el contratista en las grietas de las losas de concreto recuperan la capacidad de las losas de rodamiento como estructura del pavimento

Para evaluar la capacidad estructural del pavimento se realizaron ensayos de deflectometría de impacto (FWD) en varios tramos del proyecto. El ensayo de deflectometría de impacto se realiza mediante un dispositivo que mide la deflexión instantánea que experimenta el pavimento en un punto generado por una carga aplicada sobre dicha superficie (ver Fotografía 9).



**Fotografía 9.** Ejecución del ensayo de deflectometría de impacto en el tramo J. Estacionamiento 205+450 Fecha: 18/09/2014

Esta carga cae sobre un plato circular con un área de contacto similar a la llanta de un vehículo, las deflexiones son registradas por 9 geófonos que están dispuestos como se muestra en la Tabla 10. Mediante la configuración de los geófonos se puede obtener el cuenco de deflexiones, el cual se puede relacionar con la rigidez del pavimento.

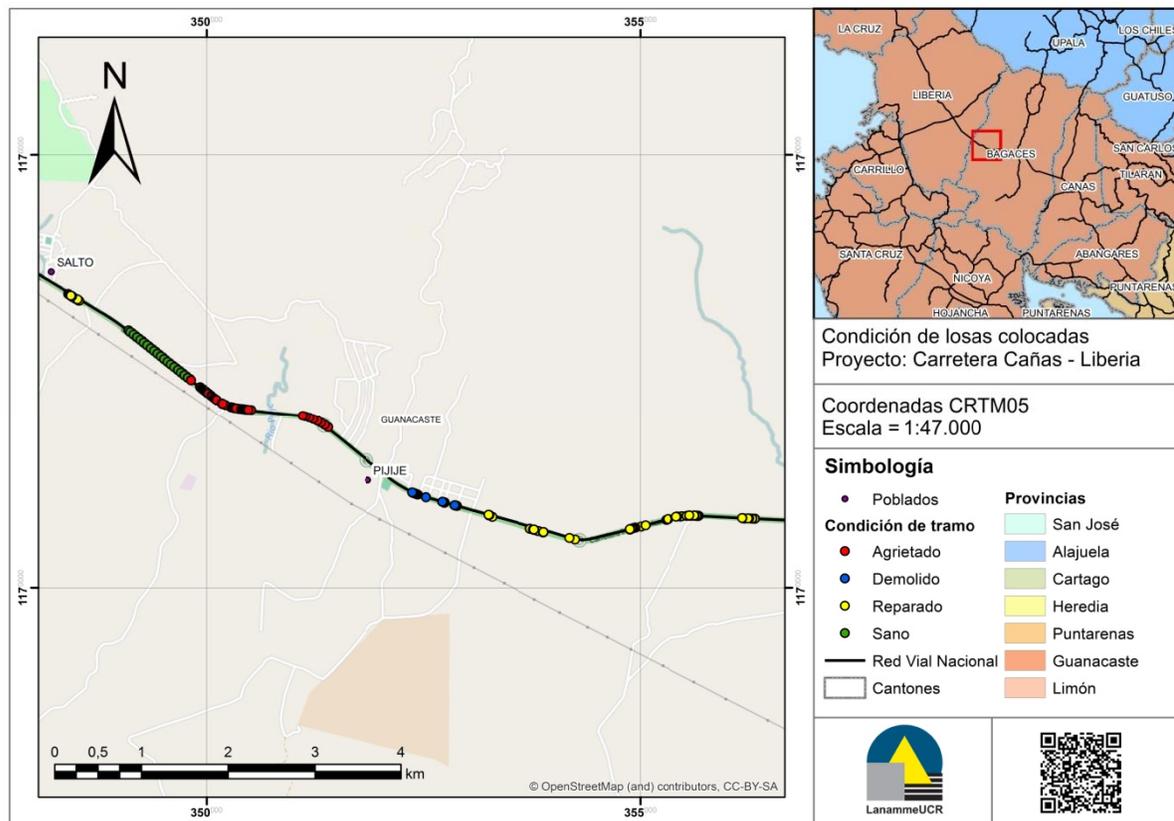
Para este análisis se realizaron mediciones en el centro de las losas. Además se tomaron mediciones en el borde las losas para poder analizar la transferencia de carga (Miranda, Leiva, & Aguiar, 2014).

**Tabla 10.** Configuración de geófonos

Sensor	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Distancia del plato de carga, mm	0	-200	-300	450	600	900	1200	1500	1800

El objetivo de este análisis es comparar el módulo de la losa de concreto que no se encuentra agrietada con respecto al módulo de la losa que ha sido sometida a reparaciones con inyección de epóxico. Para esto se tomaron mediciones en tramos que presentaban tres tipos de condiciones: losas sanas las cuales no presentaban agrietamiento, losas agrietadas y losas reparadas mediante el procedimiento anteriormente descrito. En la Figura 2 se muestran los tramos que fueron ensayados.



**Figura 2.** Ubicación de los tramos analizados con FWD en el proyecto.

Con el fin de determinar el módulo de las distintas capas existentes, se realizó un análisis de las deflexiones y el posterior retrocálculo de módulos con base en los ensayos de

deflectometría descritos anteriormente. A manera de resumen, en la Tabla 11 se muestran los estacionamientos de los tramos analizados en ambos sentidos.

**Tabla 11.** Descripción de los tramos analizados

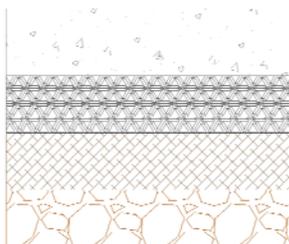
Sentido	Tramo	Estacionamientos	Longitud (m)
Cañas - Liberia	A	202+086 A 203+673 DERECHO	1.587
	B	203+820 A 204+721 DERECHO	900
	C	204+690 A 203+820 IZQUIERDO	870
	D	203+820 A 203+035 DERECHO	785
Liberia - Cañas	E	199+928 A 196+775 DERECHO	3.153
	F	196+550 A 199+949 IZQUIERDO	3.399
	G	200+829 A 200+324 ESCUELA PIJIJE DERECHO	505
	H	200+311 A 200+844 ESCUELA PIJIJE IZQUIERDO	533
	I	205+528 A 205+380 CARRIL DERECHO	148
	J	205+403 A 205+492 IZQUIERDO	89

Como módulos semilla se utilizan los módulos propuestos para la estructura de pavimento del proyecto mencionados en el cartel de licitación en la sección *Anexo 2 Sección IV. Requisitos de la obras, Apartado 2 Características del diseño estructural del pavimento semirrígido y Apartado 3 Características del diseño estructural rígido*. Según estos apartados los módulos propuestos para cada capa son los presentados en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Módulos semilla para el análisis de retrocálculo

Capa	Módulo (psi)	Módulo (MPa)
Losa de Concreto	4.799.300	33.090
Base Estabilizada BE-35	650.000	4.480
Subbase	15.000	103
Sub rasante	4.800	33

La estructura propuesta para el análisis es la definida en el cartel de licitación para carretera nueva, la cual consiste en 25 centímetros de losa de concreto, 20 centímetros de base estabilizada con cemento Portland BE-35, 20 centímetros de una subbase granular, un material de sustitución de 20,0 cm, tal como se observa en la Figura 3.



- **Losa de concreto hidráulico (e=25cm)**
- **Base estabilizada BE-35 (e=20cm)**
- **Sub base Graduación B (e=20cm)**
- **Material de préstamo para acabado caso 2(e=20cm)**

**Figura 3.** Estructura del pavimento del proyecto.

El retrocálculo de módulos se realiza para cada tramo analizado y, en caso de ser necesario se seccionan los tramos para obtener tramos homogéneos. En la siguiente tabla se muestran los valores promedio obtenidos para cada capa y por sección. Los valores para los tramos G y H no fueron incluidos en el análisis por que fueron demolidos por el contratista debido a los agrietamientos detectados en estas secciones.

**Tabla 13.** Resultados del análisis de retrocálculo

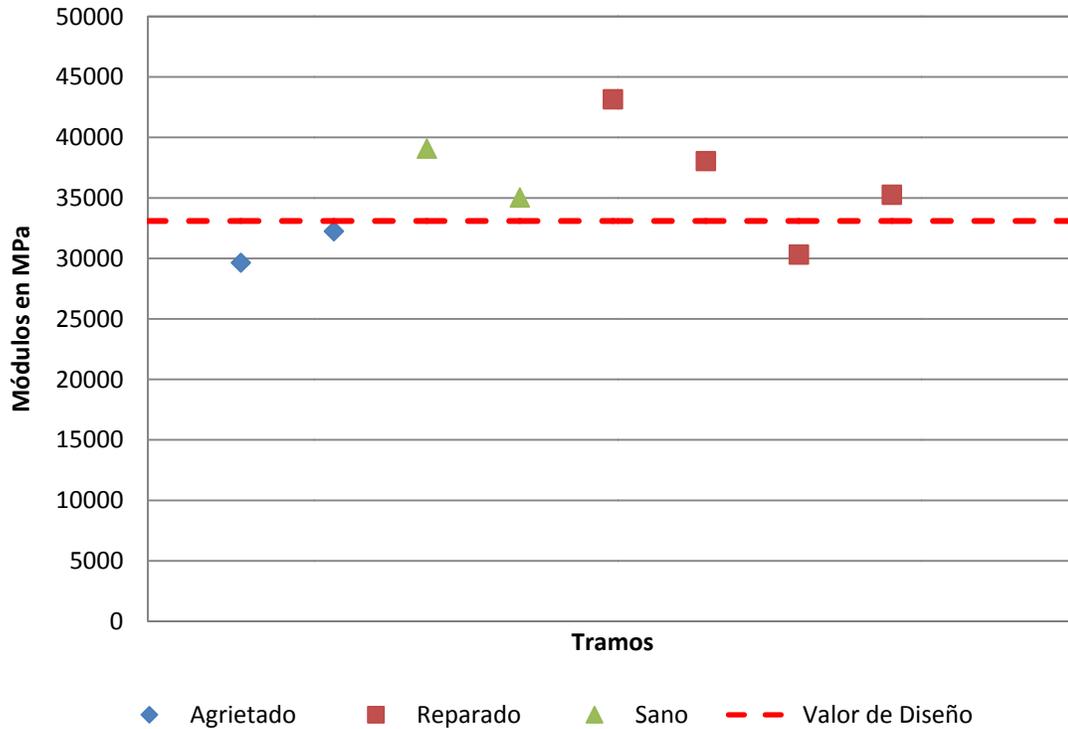
Tramo	Losa de Concreto (Mpa)	Base Estabilizada (Mpa)	Subbase (Mpa)	Subrasante (Mpa)	RMS (%)
A	29.674	9.680	118	130	0,70
B	39.067	5.113	100	94	1,39
C	35.032	4.78.45	112	91	1,61
D	32.343	5.762	269	68	1.46
E	43.157	5.828	122	130	1,71
F	38.051	10.139	120	296	0.80
I	30.325	4063	124	112	1,32
J	35.269	3.965	106	109	1,43

Basado en inspección visual realizada y en el levantamiento de deterioros suministrado por las Unidad Ejecutora mediante oficios UE - ARCL-04-2015 114 y UE - ARCL-04-2015 233 se le asignaron las siguientes condiciones a cada tramo.

**Tabla 14.** Condición de los tramos analizados

Tramo	Condición
A	Agrietado
B	Sano
C	Sano
D	Agrietado
E	Reparado
F	Reparado
G	Demolido
H	Demolido
I	Reparado
J	Reparado

Según el análisis realizado se puede determinar que para las secciones que se encuentran sanas (secciones B y C) los valores obtenidos de módulo para la losa son superiores al esperado de 33.090 MPa (Ver Gráfico 12). En el caso de las losas que encuentran en secciones agrietadas se observa una pérdida de módulo en la losa que es de a hasta 9% con respecto al esperado según el cartel de licitación. Esto para el caso de tramo A, para el caso D el valor de pérdida es despreciable.



**Gráfico 12.** Variación del módulo en los tramos analizados

Finalmente, para el caso de la losa de rodamiento que se encuentra en tramos reparados se puede apreciar que el módulo presenta valores cercanos e incluso mayores a los esperados para la losa de concreto, con excepción del tramo I. Es por esto que criterio de esta Auditoría que la reparación que se está haciendo en las losas de concreto logra restaurar la condición esperada de las losas para alcanzar el módulo propuesto, lo cual concuerda con los resultados de laboratorio mostrados anteriormente.

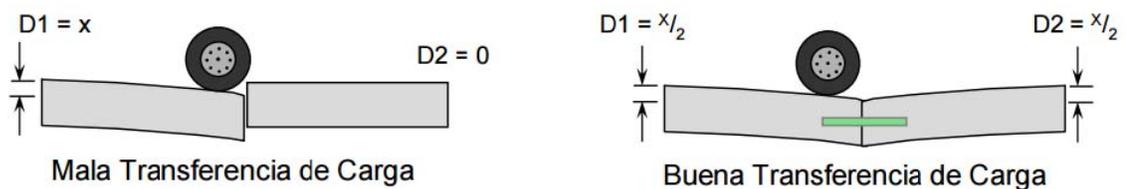
## C. SOBRE LA CAPACIDAD FUNCIONAL DE LA VÍA.

**Observación 1 . Las transferencia de carga en las losas del pavimento es satisfactoria, en su mayoría.**

Con el ensayo de deflectometría de impacto (FWD) que se realizó a las losas también se procedió a evaluar la eficiencia en la transferencia de carga que debe existir entre losas adyacentes. Como se muestra en la Figura 3 una buena transferencia de carga (100% eficiente) debe permitir que la deflexión producida al cargar una losa se distribuya por partes iguales entre la losa de aproximación y la losa de salida.. En caso contrario, una mala transferencia (0% eficiente) indica que las losas no trabajan de manera conjunta cuando la llanta pasa de una losa a la otra.

# TRANSFERENCIA DE CARGA

**Es la capacidad de una losa de transferir su carga a una losa vecina**



**Figura 3.** Definición de transferencia de carga. (Calo, Diseño de Pavimentos Rígidos, 2008)

Para los tramos analizados se realizó una medición en el centro y otra en el borde de la losa, con el fin de evaluar este parámetro. Estos tramos son los mostrados en la figura 2.

Debido a la configuración de los geófonos presentado en la Tabla 10, la expresión utilizada para calcular la eficiencia es la siguiente:

$$E = \frac{D_{3 \text{ Junta}}}{D_{2 \text{ Junta}}} \frac{D_{2 \text{ Centro}}}{D_{3 \text{ Centro}}} \times 100\%$$

Donde:

$D_{3 \text{ Junta}}$  : Deflexión en el sensor 3 cuando el esfuerzo se aplica en el borde de la losa.

$D_{2 \text{ Junta}}$  : Deflexión en el sensor 2 cuando el esfuerzo se aplica en el borde de la losa.

$D_{3 \text{ Centro}}$  : Deflexión en el sensor 3 cuando el esfuerzo se aplica en el centro de la losa.

$D_{2 \text{ Centro}}$  : Deflexión en el sensor 2 cuando el esfuerzo se aplica en el centro de la losa.

La eficiencia se verifica en todos los tramos a lo largo de cada losa. En la Tabla 15 se muestra la eficiencia promedio medida en cada tramo y su desviación estándar. En la mayoría de los tramos se muestra una transferencia superior al 70% la cual es el límite inferior recomendable.

**Tabla 15.** Eficiencia de transferencia de carga para los tramos analizados

Tramo	Promedio	Desviación estándar	Cantidad de datos
Tramo A	85,5	11,9	32
Tramo B	97,4	4,4	19
Tramo C	90,8	11,0	221
Tramo D	94,1	8,5	42
Tramo E	87,9	6,6	30
Tramo F	90,4	10,5	28
Tramo I	78,3	16,9	18
Tramo J	65,9	2,8	3

Para el tramo J se tienen valores de eficiencia de transferencia menores al límite recomendado. Aunque este tramo es el que cuenta con menor cantidad de datos, mediante una inspección visual realizada en el tramo el día 30 de setiembre de 2015 (un año después de haber sido reparadas) se observa que ya se están generando grietas en la zona de transferencia (Ver Fotografía 10).



**Fotografía 10.** Grietas en zona de transferencia en el tramo J. Estacionamiento 205+450  
Fecha: 30/09/2015

Es criterio de esta Auditoría que la transferencia de carga que presentan las losas de concreto es satisfactoria en la mayoría de los tramos aunque se observa que el valor alcanzado en el tramo J es menor al límite de recomendable. Cabe mencionar que poca eficiencia en la transferencia de carga implica altas deflexiones en las esquinas de las losas que, bajo la aplicación de cargas repetidas, generan agrietamientos, entre otros deterioros.

### Hallazgo 5. El coeficiente de fricción (GRIP NUMBER) de la carretera es menor al mínimo recomendable.

Durante las visitas al proyecto y durante las acciones de colocación del concreto se ha observado que el contratista omite la actividad de utilizar una manta de yute para poder obtener la microtextura en el concreto según lo especifica el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras caminos y puentes CR-2010 en la División 500 "Pavimentos de concreto hidráulico" sección 501 "Pavimentos de concreto hidráulico" apartado 501.09 "Acabado de la superficie". En este apartado se indica:

*"El acabado final de la superficie consistirá en lograr una microtextura longitudinal áspera al pasar por ella una manta de yute.."*

En las siguientes fotografías se muestra como se ve el acabado de la superficie en el proyecto (Fotografía 11) y como se debería ver con la aplicación de la manta de yute (Fotografía 12)



**Fotografía 11.** Acabado de la superficie. Estacionamiento 196+400 Fecha: 16/07/2015



**Fotografía 12.** Acabado esperado en la superficie después de utilizar el yute. (Calo, 2013)

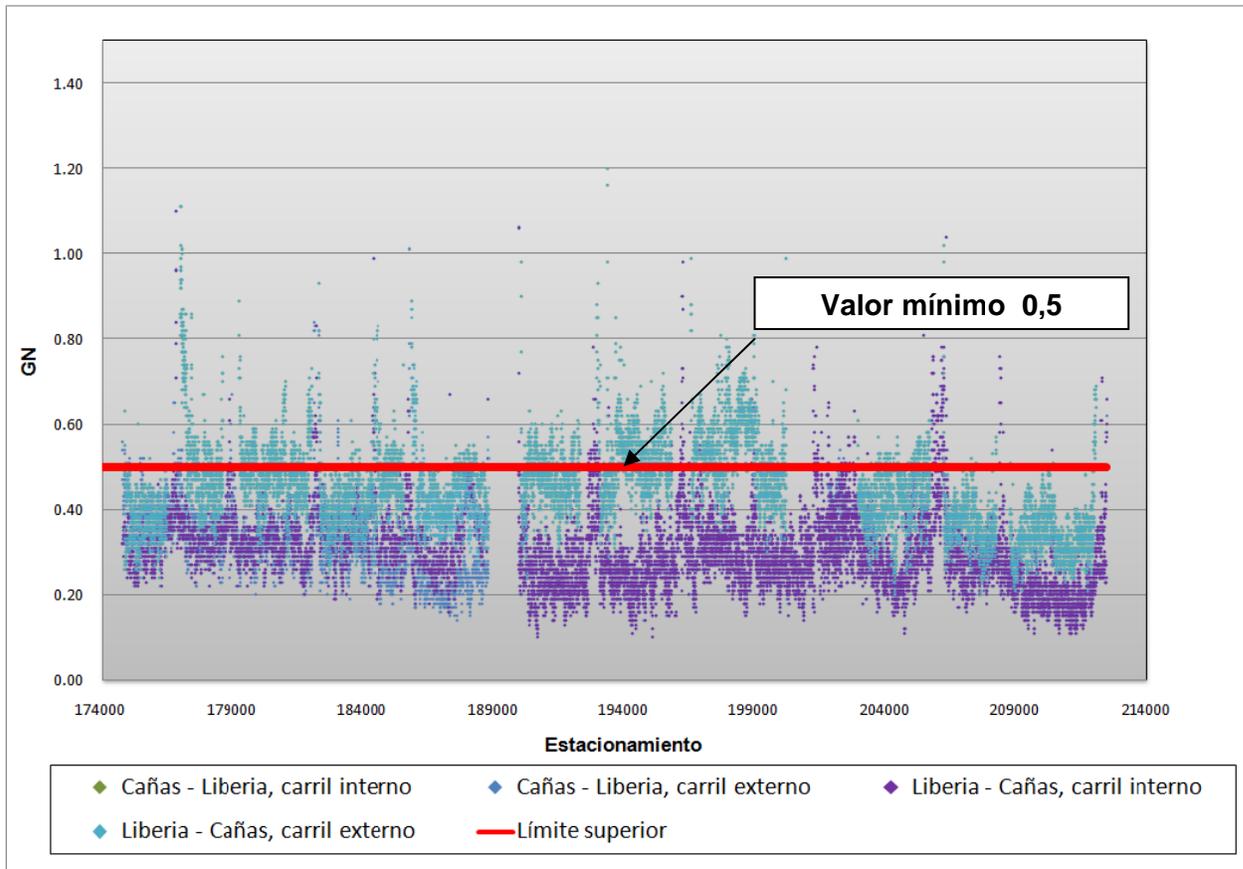
Con el fin de determinar la influencia de esta omisión en el proceso constructivo en la fricción del pavimento, el equipo auditor procedió a solicitar pruebas para verificar la fricción en la carretera. La fricción que se produce entre la llanta y el pavimento garantiza el agarre del vehículo y por ende, está relacionado con la seguridad vial de los usuarios. El coeficiente de fricción o Grip Number es medido y clasificado por el LanammeUCR en las evaluaciones bienales de la Red Vial Nacional (RVN) de acuerdo a lo mostrado en la siguiente Tabla 16 (Barrantes Jimenez, Sanabria Sandino, & Loría Salazar, 2013).

**Tabla 16.** Clasificación internacional del pavimento según el Grip Number.

GN	Condición	Nivel			Tipo de Pavimento característico
		Deslizamiento	Probabilidad de accidentes	Riesgo medio de accidentabilidad*	
< 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 rígido y flexible con buena textura
> 0,78	Muy Bueno	No deslizante	Poca probabilidad	menor a 10	Pavimento nuevo o sobrecapas

\* 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 2013.

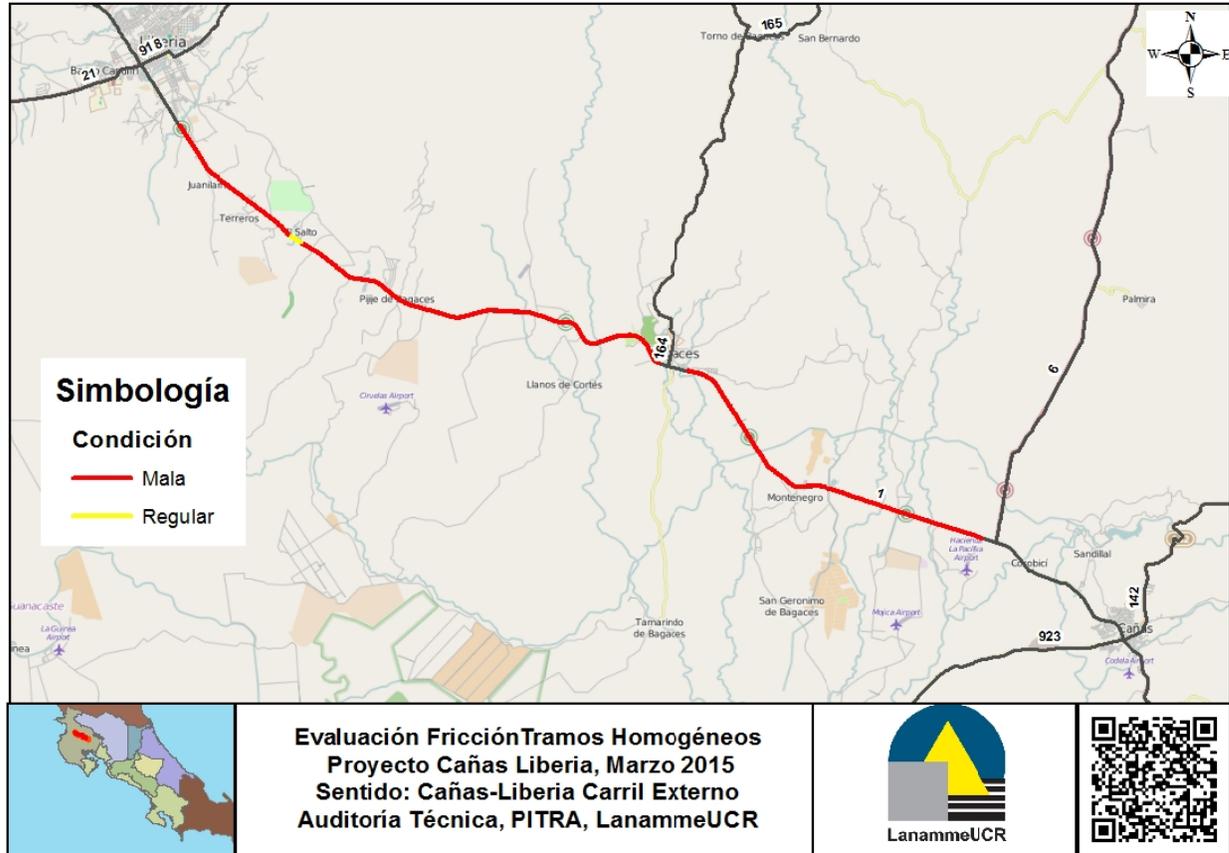
De acuerdo con esta clasificación, los pavimentos con valores de *Grip Number* por debajo de 0,5 presentarán una baja resistencia a la fricción y su condición deslizante representa un alto riesgo para la seguridad vial de los usuarios. Como parte del proceso de fiscalización de la Unidad de Auditoría Técnica, se ha monitoreado la condición de fricción en la superficie del pavimento del proyecto. Las mediciones se realizaron entre el 9 y el 11 de marzo de 2015. Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente gráfico.



**Gráfico 13.** Variación del coeficiente de fricción en el Proyecto. Sentido Cañas Liberia y Liberia Cañas.

Como se puede observar la mayoría de los valores son menores al mínimo recomendado y siendo esto un factor del componente de seguridad vial de la vía, la Administración debe velar por el control del coeficiente de fricción con el propósito de garantizar la seguridad de los usuarios de las carreteras.

En la Figura 4 que se muestra a continuación se observa la condición del pavimento para el sentido Cañas Liberia en carril externo.



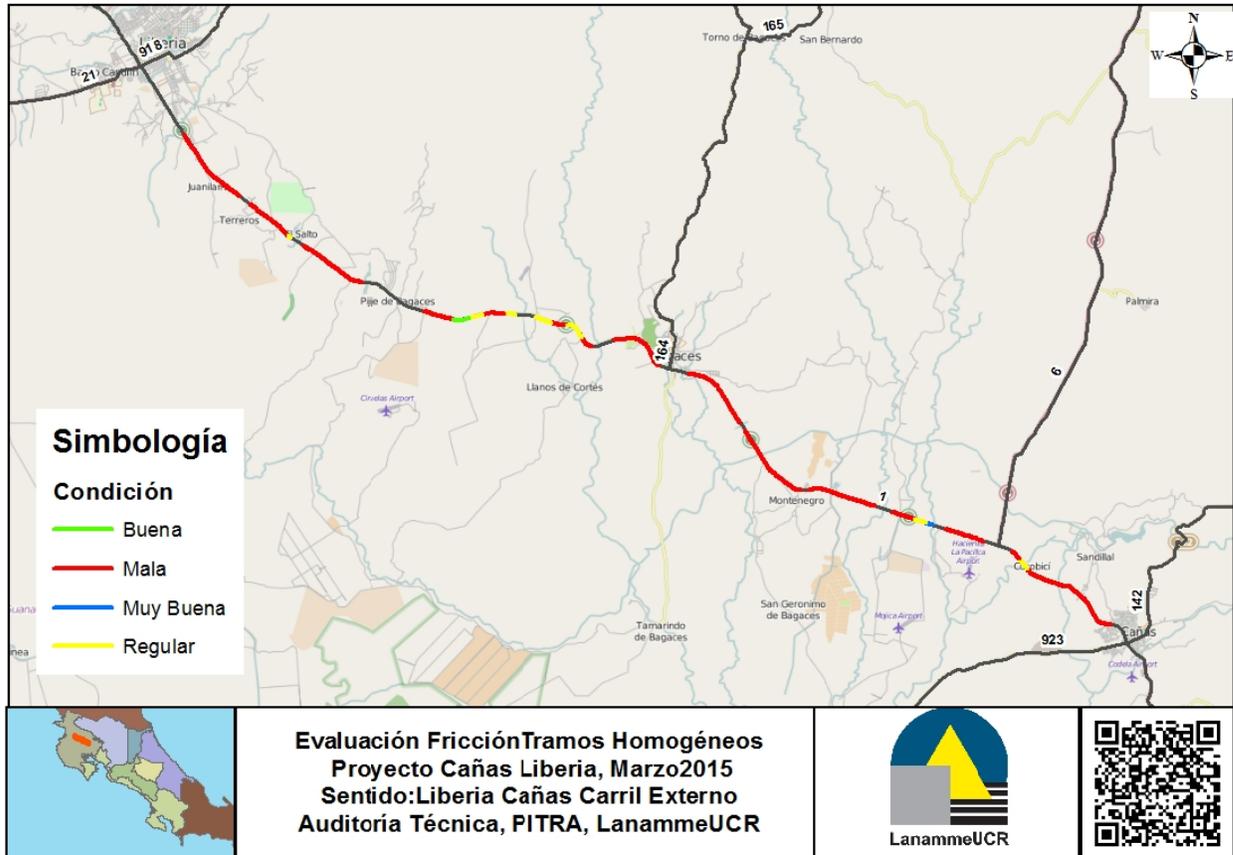
**Figura 4.** Mapa de la variación del coeficiente de fricción en el Proyecto. Sentido Cañas Liberia carril externo.

Como se puede apreciar en la figura anterior los valores para este carril son inferiores a 0,5 para la mayor parte del carril. Se puede determinar un sector pequeño que presenta condiciones regulares en las cercanías del Río Salto. En la Figura 5 se muestra la condición para este mismo sentido pero en el carril interno.



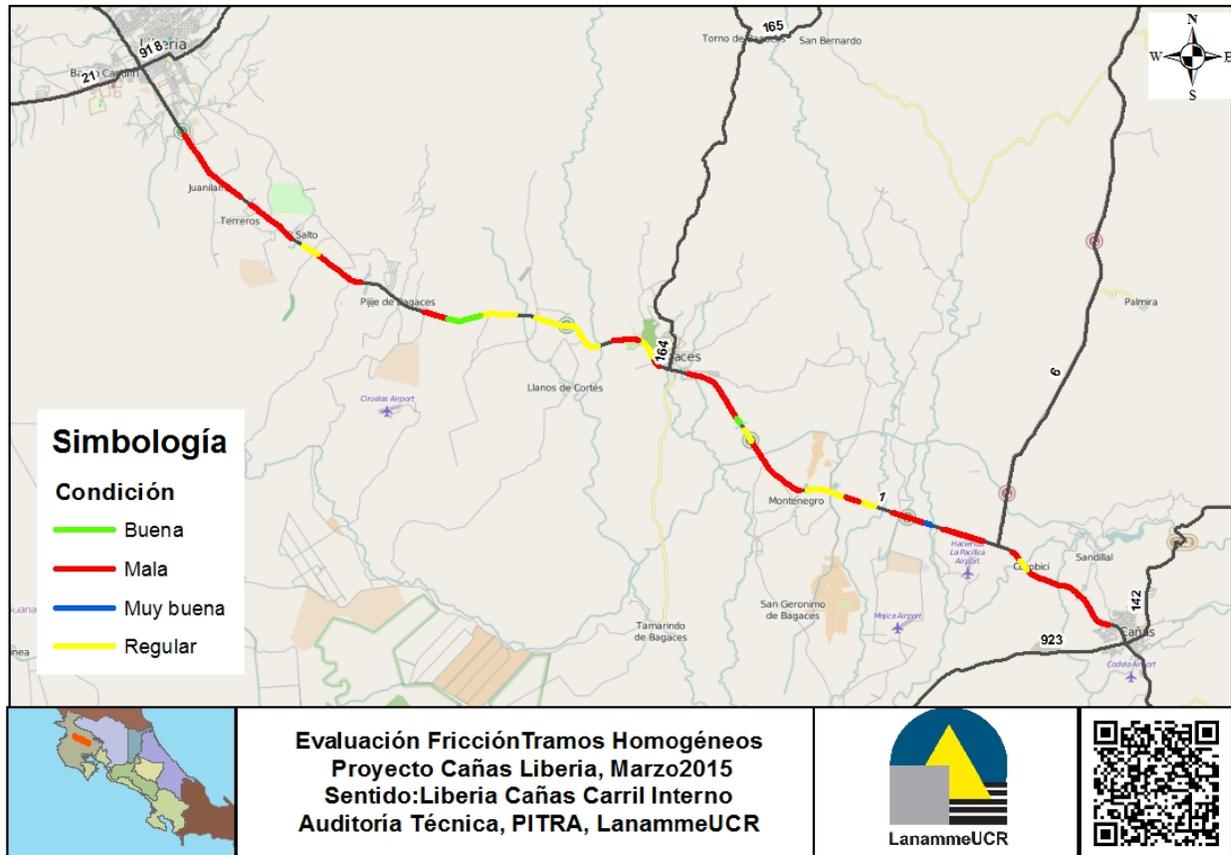
**Figura 5.** Mapa de la variación del coeficiente de fricción en el Proyecto Sentido Cañas Liberia carril interno.

Para este carril observamos que todo se encuentra en condición mala, muy similar a la presentada para el carril externo. En la Figura 6 se presenta la condición para el sentido Liberia - Cañas para el carril externo.



**Figura 6.** Mapa de la variación del coeficiente de fricción en el Proyecto Sentido Liberia Cañas carril externo.

Para el tramo analizado se puede determinar que hay varias secciones que presentan condiciones que varían entre muy buena a regular pero que en su gran mayoría existe una condición mala. Finalmente, se exhibe la Figura 7 para el carril interno en el sentido Liberia Cañas.



**Figura 7.** Mapa de la variación del coeficiente de fricción en el Proyecto Sentido Liberia Cañas carril interno.

Se aprecia visualmente que a pesar de que se muestran varios tramos en condición regular la condición preponderante en este carril, así como en todo el proyecto, es catalogada como mala.

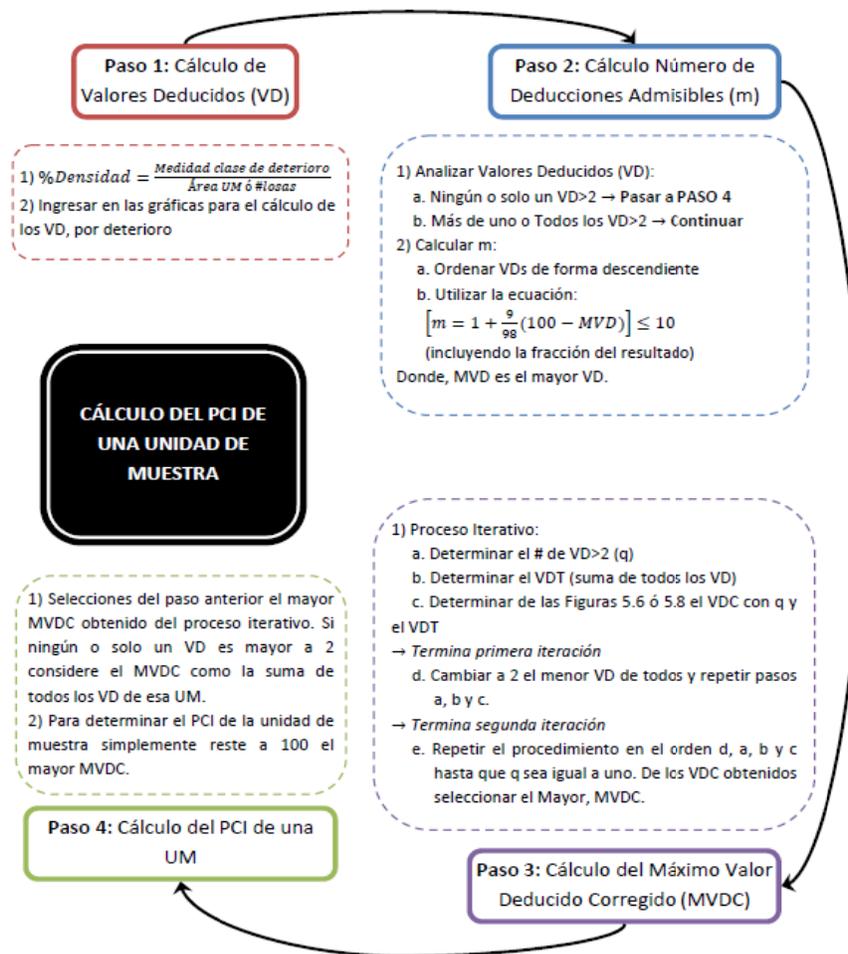
Es importante señalar que a pesar de que la fricción en el pavimento puede ser significativamente influenciada por las variaciones estacionales del clima, en el caso de pavimentos de concreto las variaciones no son tan significativas que como para el caso de pavimentos de mezcla asfáltica (Ahammed & Tighe, 2008)

Finalmente, es criterio de la Unidad de Auditoría Técnica que la condición alcanzada en términos del coeficiente de fricción por la superficie del pavimento en el proyecto, se considera un deterioro prematuro y no corresponde a las condiciones esperables de acuerdo a la inversión realizada.

**Observación 2. El índice de condición del pavimento (PCI) se encuentra por debajo del esperado para un proyecto nuevo.**

Durante la gira del 4 y 5 de junio de 2015 el equipo auditor procedió a realizar una evaluación del estado de la vía mediante el índice de condición del pavimento (PCI) en la cual se procedió a identificar los deterioros en unidades de muestra (UM) definidas para toda la carretera. Según el cálculo de unidades de muestra definido por la metodología utilizada, se tomaron 16 unidades de muestra de 20 losas cada una (5 losas por carril para los dos sentidos) . Adicionalmente, se pueden tomar unidades de muestra especiales las cuales tienen una jerarquía diferente a las unidades de muestra. Para este caso se tomo una unidad de muestra especial.

En la Figura 8 se muestra la metodología para calcular el PCI de cada Unidad de muestra basado en los deterioros encontrados y su severidad.



**Figura 8.** Diagrama resumen para el cálculo del PCI de una UM. (LanammeUCR, 2014)

En la Tabla 17 se observan los valores de PCI obtenidos para cada unidad de muestra, los deterioros auscultados, su severidad (la cual puede ser alta, media o baja), la medida que dependerá de cuantas losas se encuentran afectadas en la unidad de muestra y la densidad la cual está en función de la cantidad de losas deterioradas en la unidad de muestra.

**Tabla 17.** Cálculo de PCI para cada unidad de muestra evaluada en el proyecto.

Unidad de Muestra	Estacionamiento	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad	Valor Deducido	Valor deducido Corregido	PCI
1	168+731	Grietas Lineal	Alto	2	10	20	22	78
		Fracturas de Junta	Baja	1	5	2		
		Caso especial (huecos)	-	1	5	0		
2	171+800	Fracturas de Junta	Baja	2	10	2	10	90
		Pulimiento de agregados		10	50	8		
3	175+060	Fracturas de Junta	Medio	1	5	1	3	97
		Fracturas de Junta	Baja	2	10	2		
		Caso especial (huecos)	-					
4	178+400	Grietas Lineal	Baja	2	10	5	5	95
		Contracción	-	3	15	0		
5	181+500	Grietas Lineal	Baja	2	10	5	8	92
		Contracción	-	2	10	0		
		Pulimiento de agregados	-	5	25	5		
6	184+671	Grietas Lineal	Medio	1	5	5	22	78
		Grietas Lineal	Baja	9	45	18		
		Fracturas de Junta	Medio	1	5	1		
7	187+861	Grietas Lineal	Baja	7	35	16	14	86
		Fracturas de Junta	Medio	1	5	1		
		Fracturas de Junta	Baja	4	20	5		
8	190+950	Fracturas de Junta	Medio	3	15	7	8	92
		Fracturas de Junta	Baja	1	5	1		
9	194+200	Fracturas de Junta	Medio	5	25	12	14	86
		Fracturas de Junta	Baja	5	25	5	12	
		Desprendimiento de agregados	-	4	20	4		
10	197+300	Fracturas de Junta	Medio	1	5	1	5	95

Unidad de Muestra	Estacionamiento	Deterioros Auscultados	Severidad	Medida	Densidad	Valor Deducido	Valor deducido Corregido	PCI
		Desprendimiento de agregados	-	4	20	4		
11	200+450	Grietas Lineal	Baja	3	15	8	14	86
		Fracturas de Junta	Medio	5	25	12		
		Fracturas de Junta	Baja	2	10	2		
12	203+600	Grietas Lineal	Baja	12	60	21	18	82
		Fracturas de Junta	Medio	2	10	4		
		Fracturas de Junta	Baja	2	10	2		
		Pulimiento de agregados	-	1	5	1		
13	206+766	Fracturas de Esquina	Baja	3	15	2	4	96
		Fracturas de Junta	Baja	2	10	2		
14	209+950	Grietas Lineal	Baja	6	30	14	17	83
		Contracción	-	3	15	0		
		Daño en sello	Medio	2	10	4		
		Fracturas de Junta	Baja	2	10	2		
15	213+600	Grietas Lineal	Baja	4	20	10	11	89
		Fracturas de Junta	Medio	1	5	1		
16	216+210	Fracturas de Junta	Medio	1	5	1	9	91
		Pulimiento de agregados	-	10	50	8		
UE1	196+487	Grietas Lineal	Medio	1	5	5	14	86
		Grietas Lineal	Baja	8	40	16	12	
		Desprendimiento de agregados	-	3	15	2		

Se puede observar que para el caso de análisis el valor de PCI para las unidades de muestra varía desde 78 a 97. La unidad de muestra especial presenta un valor de PCI de 86. Con los valores obtenidos se procedió a sacar el PCI del proyecto, el cual es un promedio ponderado en función del área de cada unidad de muestra. En el caso de las Unidades Especiales se les asigna un peso especial por no ser elegidas de manera aleatoria. En este caso como sólo se realizó una unidad de muestra especial no se muestra una variación entre esta y la calificación obtenida sin unidad de muestra especial. Los resultados se muestran en la tabla 2.

**Tabla 18.** Calificación de PCI para el proyecto usando los dos escenarios posibles.

PCI	
Sin unidades adicionales	88,5
Con unidades adicionales	88,5

Para este tipo de condición se tiene que el pavimento se encuentra en una condición Q2, la cual según el Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional se indica " *En estos pavimentos la capacidad estructural sigue siendo muy buena, sin embargo el nivel de regularidad superficial se ha desplazado a una condición regular donde la calidad del manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y se pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito*". (Barrantes Jimenez, Sanabria Sandino, & Loría Salazar, 2013)

Esto indica que a pesar de que el pavimento presenta una buena condición, no es la calificación que se espera para un proyecto nuevo, la cual debe rondar entre 100-90. También es muy importante considerar que la metodología no asigna valores deducidos a casos especiales como son los huecos (ver Fotografía 13) en las losas, las cuales por su condición deberían ocasionar la sustitución parcial o total la losa que presenta este tipo de deterioro.



**Fotografía 13 .** Caso especial detectado en la unidad de muestra 1

Es importante señalar que el equipo auditor realizó análisis para un periodo específico en el cual el proyecto se encuentra en ejecución, por lo que el resultado mostrado no necesariamente es el diagnóstico final del proyecto pero que puede servir como insumo a la Administración para asegurar la calidad de la inversión realizada.

#### D. SOBRE LOS ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.

**Hallazgo 6. Se han detectado prácticas constructivas inadecuadas que pueden favorecer la aparición de grietas en las losas de concreto.**

Durante la visita del equipo auditor del día 16 de julio de 2015, se observó que se estaban realizando cortes a espesor completo para proceder a la reposición de las losas que estaban muy deterioradas para ser reparadas. En algunos sectores se observó que la demolición no era por losas, si no que algunas se hacían en cortes irregulares (ver Fotografía 14) .



**Fotografía 14 .** Corte a espesor completo de losa de concreto en forma irregular .  
Estacionamiento 200+400 Fecha 16 de julio 2015

Este tipo de corte puede provocar la aparición de grietas en los planos en los que se genera el descuadre de las losas debido al movimiento de las mismas, producto de los cambios de temperatura que suceden durante el día.

En este mismo sector se pudo observar algunas dovelas dobladas. (Fotografía 15). Es importante verificar que al realizar las reparaciones todas las dovelas se encuentren alineadas para garantizar una adecuada transferencia de la carga. Las dovelas que no cumplan con esto deberían ser sustituidas.



**Fotografía 15 .** Dovelas dobladas en zona de reparación de losas . Estacionamiento 200+400 Fecha 16 de julio 2015

El Manual de Especificaciones generales para la construcción de carreteras caminos y puentes CR-2010 indica en la División 500 "Pavimentos de concreto hidráulico" sección 501 "Pavimentos de concreto hidráulico" apartado 501.11 "Juntas" indica que:

*"Las dovelas se colocarán paralelas entre sí y al eje de la calzada, en la ubicación que se tenga prevista para la junta transversal, de acuerdo con lo que establezcan los planos del proyecto. Se deberá dejar una referencia precisa que defina esa posición a la hora de completar la junta "*

Finalmente, en algunos frentes de obra se ha detectado que algunas de las canastas que se utilizan para la colocación de las dovelas no se encuentran en óptimas condiciones (Fotografía 16). Una canasta mal colocada puede ocasionar el desplazamiento de las dovelas en sentido transversal o rotacional impidiéndoles cumplir su función de transferir la carga entre losa y losa.



**Fotografía 16** .Canasta para colocación de dovelas en mal estado. Estacionamiento 212+300 Fecha 30 de setiembre 2015

En el Manual de Especificaciones generales para la construcción de carreteras caminos y puentes CR-2010 indica en la División 500 "Pavimentos de concreto hidráulico" sección 501 "Pavimentos de concreto hidráulico" apartado 501.11 " Juntas" indica que:

*"Dispositivo para transferencia de cargas: salvo que las dovelas o barras para transferencia de cargas se introduzcan por vibración en el pavimento mediante máquinas adecuadas para ello, estos pasadores deberán colocarse con anterioridad al vertido del concreto, sobre canastas de varillas metálicas, suficientemente sólidas y con uniones soldadas que se fijarán a la base de una manera sólida, mediante anclajes u otros dispositivos de fijación."*

Es criterio de esta Auditoría Técnica que este tipo de práctica contravienen los documentos contractuales y que pueden favorecer el agrietamiento prematuro de las losas, lo cual implicaría una pérdida de vida útil de la obra y una mayor inversión para su mantenimiento.

## 11. CONCLUSIONES

- 11.1** Con respecto a los valores de resistencia a la compresión uniaxial en las muestras de especímenes de base estabilizada ensayados por los tres laboratorios analizados en este estudio se puede concluir que en general existe un incumplimiento alto en el límite superior de la resistencia permitida, esto basado en el pronunciamiento de LM-PI-044-12. Altas resistencias a la compresión de la capa de base estabilizada podría provocar un riesgo latente de agrietamiento en esta capa. Cabe recalcar que la literatura señala que para valores altos de resistencia a la compresión de la capa de base estabilizada podría conducir a que presente agrietamientos por contracción. Como consecuencia a este agrietamiento para el desempeño estructural del pavimento rígido, existe el riesgo que se produzca una disminución del módulo de reacción (k) a raíz de existir una capa de soporte (en este caso la base estabilizada con cemento) más erosionable, que en el mediano y largo plazo, afectaría el desempeño por erosión y el pavimento sería propenso a una falla de agrietamiento en la esquina.
- 11.2** Con respecto a los valores de resistencia analizados para el concreto de pavimento rígido, de las muestras ensayadas por los tres laboratorios, se puede decir que en general se tienen resultados de resistencia a la flexotracción acordes con lo solicitado en la especificación cartelaria, para un valor establecido mínimo de  $50 \text{ kg/cm}^2$ .
- 11.3** En cuanto a las reparaciones con epóxico que se están realizando en las losas del proyecto se observa que, a nivel de material, presentan un comportamiento satisfactorio basado en las especificaciones que se le solicitan al material
- 11.4** Mediante el análisis de retrocálculo realizado, se concluye que el comportamiento del paquete estructural es adecuado de acuerdo con los módulos propuestos en el cartel de licitación, y que las reparaciones que se están ejecutando en las losas analizadas no están perjudicando la rigidez del pavimento.
- 11.5** En relación a la transferencia de carga que se tiene entre losas adyacentes, se puede determinar que, en su mayoría, se presenta una transferencia de carga adecuada lo que permite que las losas trabajen conjuntamente durante el paso de las cargas vehiculares.
- 11.6** La ausencia de un procedimiento para brindar una microtextura a las losas ocasiona que los valores obtenidos en cuanto a fricción (GRIP NUMBER) son menores a los recomendados para una carretera lo cual puede ocasionar un aumento en la cantidad de accidentes de tránsito en el proyecto auditado.
- 11.7** En cuanto al Índice de Condición de Pavimento (PCI) se obtuvo un valor promedio de 88,5, el cual es menor al esperado para un proyecto nuevo.
- 11.8** Con respecto a las prácticas constructivas, se evidenciaron cortes inadecuados en reparaciones de losas, dovelas dobladas y canastas para la colocación de las mismas en malas condiciones, estas situaciones contravienen el Manual de Especificaciones generales para la construcción de carreteras caminos y puentes CR-2010 y pueden disminuir la vida útil del proyecto.

## 12. RECOMENDACIONES

Le corresponde a la Administración definir e implementar las medidas correctivas y preventivas pertinentes, que contribuyan a subsanar los hallazgos y observaciones planteados en el presente informe. A continuación se indican algunas recomendaciones.

### A la Ingeniería de Proyecto y la Unidad Ejecutora PIV I

- 1.1 Con respecto a la capa de base estabilizada es importante controlar los valores de resistencia a la compresión y mantenerlos dentro del rango establecido contractualmente, para evitar el riesgo potencial agrietamiento en dicha capa y con esto la reducción en el módulo de reacción (k) y así asegurarse un buen desempeño del proyecto en el plazo de diseño.
- 1.2 Se recomienda continuar con el proceso de reparación de las losas y que éste se realice previo a las labores de cepillado que se están realizando en las losas con el fin de poder identificar con facilidad las grietas. para Esto con el fin de garantizar que se realice un adecuado trabajo que cumpla con las buenas prácticas de la ingeniería.
- 1.3 Velar para que se tomen acciones para poder mejorar los valores de fricción que se están obteniendo en el proyecto para así reducir la incidencia de accidentes de tránsito en el proyecto.
- 1.4 Con respecto al Índice de Condición del Pavimento (PCI) se debe recomienda velar porque se realicen las reparaciones pertinentes en el proyecto con el fin de asegurar el buen uso de los recursos públicos.

### A la Administración

- 2.1. Evaluar periódicamente el valor de transferencia de carga en el monitoreo de la carretera una vez que ésta entre en funcionamiento para poder tomar mediciones correctivas que aseguren la vida útil de la obra.

### 13. REFERENCIAS

- Ahammed, M. A., & Tighe, S. L. (2008). Long Term and Seasonal Variations of Pavement Surface Friction. *Long-term Warranty Contracts for Pavement Construction or Rehabilitation Session*. Toronto, Ontario.
- Barrantes Jimenez, R., Sanabria Sandino, J., & Loría Salazar, G. (2013). *Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica Años 2012-2013*. LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), San José.
- Calo, D. (2013). Avances en las Características Superficiales de los Pavimentos de Hormigón. *5ª Jornada de Hormigón en Uruguay*, (págs. 9-10). Montevideo.
- Calo, D. (2008). Diseño de Pavimentos Rígidos. *Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos*, (págs. 1-68). Cordoba.
- Cervantes-Calvo, V., Fonseca-Chaves, F., & Hidalgo-Arroyo, A. (2013). *Análisis de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento. Periodo de muestreo: Enero a Marzo 2013*. San José.
- Cervantes-Calvo, V., Fonseca-Chaves, F., & Hidalgo-Arroyo, A. (2013). *Análisis de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento. Periodo de muestreo: Julio Octubre 2013*. San José.
- Cervantes-Calvo, V., Fonseca-Chaves, F., & Hidalgo-Arroyo, A. (2014). *Análisis general de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento rígido. periodo de muestreo: año 2013*. San José.
- Halsted, G., Luhr, D., & Adaska, W. (2006). *Guide to Cement-Treated Base (CTB)*. Illinois: PCA.
- LanammeUCR. (2014). *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica*. San José.
- Miranda, F., Leiva, F., & Aguiar, J. P. (2014). *VERIFICACIÓN DE ESPESORES Y EVALUACIÓN/ANÁLISIS DE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO CARRETERA SANTIAGO-VIGUÍ*. Lanamme, PITRA, San José.
- MOPT. (2010). *Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Carreteras y Puentes*. San José.
- Neville, A. (2010). *Tecnología del Concreto*. Reino Unido: Pearson.



**EQUIPO AUDITOR**

**Preparado por:  
Ing. Víctor Cervantes Calvo.  
Auditor Técnico**

**Preparado por:  
Ing. Francisco Fonseca Chaves.  
Auditor Técnico**

**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**