



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



programa de infraestructura
del transporte

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-029-14

ANÁLISIS GENERAL DE LA CALIDAD DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO, SUBBASE, BASE ESTABILIZADA Y CONCRETO DEL PAVIMENTO RÍGIDO.

PERIODO DE MUESTREO: AÑO 2013

***PROYECTO: Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No.
1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas-Liberia. LPI No.
2011LI-000004-0DI00***



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
Mayo 2014

<p>1. Informe Preliminar Informe Final de Auditoría Técnica LM-PI-AT-029-14</p>	<p>2. Copia No. 13</p>	
<p>3. Título y subtítulo: ANÁLISIS GENERAL DE LA CALIDAD DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO, SUBBASE, BASE ESTABILIZADA Y CONCRETO DEL PAVIMENTO RÍGIDO 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 2013</p>	<p>4. Fecha del Informe Mayo 2014</p>	
<p>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</p>		
<p>8. Notas complementarias --**--</p>		
<p>9. Resumen</p> <p><u>Calidad del material de préstamo colocado en el proyecto:</u> Para las muestras ensayadas del material granular de préstamo se establece que el material cumple en general con los requisitos establecidos en el Cartel de Licitación del proyecto, tanto en granulometría como para el valor requerido de CBR. Con respecto a los datos evaluados por el laboratorio del LanammeUCR, es importante señalar que pese a que el resultado no se ve reflejado, debido a que el número de muestras es reducido, se observan partículas de tamaño mayor a la malla de 76,2 mm.</p> <p><u>Calidad del material de subbase colocado en el proyecto:</u> Para los resultados de material granular de subbase en general los porcentajes estimados fuera de los límites de especificación se encuentra por arriba del establecido. Algunos porcentajes mayores que los permitidos en la sección 107.05 del CR-2010 que se observan en la Tabla 4 son por ejemplo para el caso de la malla 1 ½" se encuentra 1%; 6% para la No 4 y 7% en la malla No 200. En el caso del CBR se pueden observar 2%.</p> <p><u>Calidad del material de base estabilizada colocado en el proyecto:</u> Del análisis realizado se logra determinar que más del 55% de todos los valores de resistencia se encuentran por encima del valor considerado como máximo equivalente a 50kg/cm². Mayor relevancia toma este análisis si se considera que aproximadamente un 20% de los datos analizados tienen una resistencia entre 70 y 110 kg/cm². Indica la Asociación de Cemento Portland, que a partir de resistencias cercanas a 60kg/cm² se pueden producir agrietamientos considerables en la capa de material estabilizado; que en el caso de capa de soporte de losas de concreto, puede ser desfavorable ya la presencia de humedad podría provocar el arrastre de finos e incidir en el comportamiento de las losas (fracturamiento, descalce, entre otras). Cabe recalcar que el valor promedio de los datos acorde con la especificación especial incluida en el Cartel de Licitación del proyecto en cuestión debe ser de 40kg/cm², tal como se observa en el Gráfico 1, este tiene un porcentaje menor del 15% cuando debería estar cercano al 50% (valor promedio).</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/cm², establecido en el Cartel de Licitación del proyecto en cuestión a lo largo del periodo de estudio. Cabe destacar que es en los primeros meses de colocación de la mezcla donde se presentan valores mayores al porcentaje máximo permitido, evidenciando un posible ajuste del diseño de mezcla y del proceso productivo en planta. Para el caso del revenimiento, presenta una alta variabilidad perceptible a partir del mes de octubre de 2013 en los resultados de verificación de calidad y del LanammeUCR. Para este parámetro se encuentran valores desde 15 mm hasta 90 mm.</p>		
<p>10. Palabras clave Material de Préstamo, Material de Subbase, Graduación B, Material de Base Estabilizada, Pavimento de Concreto, Resistencia, Relleno, Granulometría</p>	<p>11. Nivel de seguridad: Confidencial</p>	<p>12. Núm. de páginas 32</p>



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA ANÁLISIS GENERAL DE LA CALIDAD DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO, SUBBASE, BASE ESTABILIZADA Y CONCRETO DEL PAVIMENTO RÍGIDO 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.

Audidores:

Ing. Víctor Cervantes Calvo, Auditor Técnico Líder
Ing. Francisco Fonseca Chaves, Auditor Técnico Adjunto
Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo, Auditora Técnica Adjunta

Asesor Legal :

Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

El alcance de esta Auditoría Técnica se centró en la recopilación de la información sobre la evaluación de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento rígido en el proyecto, para el periodo de muestreo que corresponde al año 2013, que fue emitida por los laboratorios de control de calidad, verificación de calidad y el LanammeUCR.

TABLA DE CONTENIDOS

1. FUNDAMENTACIÓN	6
2. OBJETIVO DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	6
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y UBICACIÓN.....	7
4. ANTECEDENTES	8
5. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	9
6. ALCANCE DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	9
7. RESPONSABLES DEL PROYECTO.....	10
8. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR.....	10
9. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA; ERROR! MARCADOR NO DEFINI	
<i>A. SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL GRANULAR UTILIZADO COMO CAPA DE PRÉSTAMO.....</i>	<i>11</i>
<i>B. SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL GRANULAR UTILIZADO COMO CAPA DE SUBBASE</i>	<i>13</i>
<i>C. SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL UTILIZADO COMO CAPA DE BASE ESTABILIZADA</i>	<i>15</i>
<i>D. SOBRE LOS RESULTADOS DEL CONCRETO UTILIZADO COMO PAVIMENTO RIGIDO.....</i>	<i>22</i>
MÁXIMO PORCENTAJE FUERA DE LOS LÍMITES DE ESPECIFICACIÓN PERMITIDO (%)¹	22
11. CONCLUSIONES.....	30
12. RECOMENDACIONES	31

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESUMEN DE LOS PRODUCTOS DE AUDITORÍA TÉCNICA EN EL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA	8
TABLA 2. NÚMERO DE INFORMES Y MUESTRA POR MATERIAL ANALIZADO.....	9
TABLA 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO	12
TABLA 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS DEL MATERIAL DE SUBBASE.	13
TABLA 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS DEL MATERIAL DE BASE ESTABILIZADA BE-35.	16
TABLA 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS DEL MATERIAL DE CONCRETO.....	22

ÍNDICE DE GRÁFICO

GRÁFICO 1. PORCENTAJE ACUMULADO DE VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BASE ESTABILIZADA PARA LAS MUESTRAS DE LOS DOS LABORATORIO INVOLUCRADOS EN EL PROYECTO Y DEL LANAMMEUCR.....	18
GRÁFICO 2. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA EL MATERIAL DE LA BASE ESTABILIZADA BE-35 DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, SEGÚN DATOS DE CONTROL DE CALIDAD (L.G.C. INGENIERÍA EN PAVIMENTOS)	19
GRÁFICO 3. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA EL MATERIAL DE LA BASE ESTABILIZADA BE-35 DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, SEGÚN DATOS DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD (CONSORCIO C&E)	20
GRÁFICO 4. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA EL MATERIAL DE LA BASE ESTABILIZADA BE-35 DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, SEGÚN DATOS DEL LANAMMEUCR. ...	21
GRÁFICO 5. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCIÓN PARA EL CONCRETO DEL PAVIMENTO RÍGIDO DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, SEGÚN DATOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD (L.G.C. INGENIERÍA EN PAVIMENTOS).....	24
GRÁFICO 6. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCIÓN PARA EL CONCRETO DEL PAVIMENTO RÍGIDO DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, SEGÚN DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD (CONSORCIO C&E)	25
GRÁFICO 7. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCIÓN PARA EL CONCRETO DEL PAVIMENTO RÍGIDO DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, SEGÚN DATOS DEL LABORATORIO DEL LANAMMEUCR.....	26
GRÁFICO 8. RESULTADOS DE DE VALOR DE REVENIMIENTO PARA EL CONCRETO DEL PAVIMENTO RÍGIDO DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, SEGÚN DATOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD (L.G.C. INGENIERÍA EN PAVIMENTOS).....	27
GRÁFICO 9. RESULTADOS DE DE VALOR DE REVENIMIENTO PARA EL CONCRETO DEL PAVIMENTO RÍGIDO DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, SEGÚN DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD (CONSORCIO C&E)	28
GRÁFICO 10. RESULTADOS DE DE VALOR DE REVENIMIENTO PARA EL CONCRETO DEL PAVIMENTO RÍGIDO DEL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, SEGÚN DATOS DEL LABORATORIO DEL LANAMMEUCR	29

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.

ANÁLISIS GENERAL DE LA CALIDAD DEL MATERIAL PARA PRÉSTAMO, SUBBASE, BASE ESTABLIZADA Y CONCRETO DEL PAVIMENTO RÍGIDO DEL 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 2013

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 el material de préstamo, subbase, base estabilizada y el concreto del pavimento, observados durante las diferentes visitas realizadas por el equipo de Auditoría Técnica al sitio en el año 2013.

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.

El presente informe tiene como objetivo realizar un análisis de los aspectos importantes en torno a la calidad de los materiales y específicamente, la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y el concreto del pavimento en el proyecto, en miras de la recepción definitiva del mismo.

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 al sitio y ensayos de laboratorio para el agregado de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento.

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. Para la emisión de este informe también se consideraron los resultados de ensayos de los laboratorios de control y verificación de la calidad del proyecto.

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). El proyecto cuenta con una longitud de 50,610 kilómetros y 9 puentes peatonales.



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

El monto original del contrato es de ₡48.251.641.725,43 (colones), y el plazo de ejecución inicial es de 730 días naturales contados a partir de la orden de inicio, que según la Orden de Servicio N° 1, se dio el 14 de mayo de 2012.

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 menciona que durante este 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, tal y como se observa en la siguiente tabla, donde se resumen la información enviada durante el proceso de auditoría realizados en el año 2013 (ver Tabla 1).

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	LM-IC-D-1373-12: Observaciones al material de préstamo	Nota Informe
Febrero 2013	LM-PI-AT-130-12: 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	LM-IC-D-0842-13: Valor del IRI medido y calculado por el LanammeUCR en secciones de base estabilizada.	Nota Informe
Julio 2013	LM-IC-D-0843-13: Valor del IRI medido y calculado por el LanammeUCR en secciones de superficie de ruedo (losa de concreto).	Nota Informe
Julio 2013	LM-PI-AT-047-13: 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	LM-PI-AT-066-13: 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	LM-IC-D-0117-14: Análisis de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento. Periodo de muestreo: Julio a Octubre 2013	Nota Informe

Adicionalmente, en la siguiente tabla se detallan la cantidad de muestras e informes de laboratorio realizados por el LanammeUCR para los materiales de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento rígido realizados durante el año 2013.

- Número de Informes de laboratorio generados y muestras totales en el año 2013: 50 Informes y 77 muestras de materiales.

Tabla 2. Número de Informes y muestra por material analizado

Material	Cantidad de informes	Cantidad de Muestras
Préstamo	18	21
Subbase	16	19
Base Estabilizada	9	13
Concreto	15	24

5. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

El período de muestreo abarcó todo el año 2013, contando con la colaboración de los laboratorios del LanammeUCR. Se realizaron los muestreos y ensayos a los diferentes materiales de préstamo, subbase, 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 "Cacisa & 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 préstamo, subbase, 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 2013, 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-000004-0DI00 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 Líder)
- Ing. Francisco Fonseca Chaves. (Auditor Técnico Adjunto)
- Ing. Ana Hidalgo Arroyo (Auditora Técnica Adjunto)
- Lic. Miguel Chacón Alvarado (Asesor Legal)

9. ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-029B-14, COMENTARIOS DE LA PARTE AUDITADA

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-049-2014 del 02 de mayo del 2014 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-029B-14 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 10 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe para el envío de comentarios al informe preliminar.

El día 19 de mayo del 2014, se recibe el oficio UE-1085-2014, de parte de la Unidad Ejecutora del proyecto donde se exponen mediante el oficio 2014-182-SCL los comentarios en relación al informe preliminar en mención. En cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica y una vez analizado dicho documento en lo que corresponde, se procede a emitir el presente informe LM-PI-AT-029-14 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley.

10. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

A. SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL GRANULAR UTILIZADO COMO CAPA DE PRÉSTAMO

De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados al material granular de préstamo muestreado en el proyecto y ensayado tanto como por el laboratorio de verificación como autocontrol y por el laboratorio de LanammeUCR, en el año 2013, presentados en la Tabla 3, se establece que el material cumple en general con los requisitos establecidos en el Cartel de Licitación del proyecto, tanto en granulometría para la malla 3" como para el valor requerido de CBR mayor de 10%.

Con respecto a los datos evaluados por el laboratorio del LanammeUCR, es importante señalar que pese a que el resultado no se ve reflejado en la Tabla 3, debido a que el número de muestras es reducido, se observan partículas de tamaño mayor a la malla de 76,2 mm. Por lo que es criterio de esta Auditoría Técnica, que el material que se va a ensayar debe mantener en todo momento sus propiedades originales, de manera que éstas sean similares a las del material en campo y que no deberían ser variadas a lo largo del ensayo, sea exponiéndolo al efecto del agua (24 horas), pulverizando el material con energía o cualquier otro mecanismo que permita cambiar las propiedades del mismo, perdiendo la representatividad del material que se colocó en campo.

Tabla 3. Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras del material de préstamo

Mes	Parámetro.	Cantidad de datos n			Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)			Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%) ¹		
		LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme
Enero	Malla 3"	16	0	1	0	-	-	41,2	-	-
	CBR	3	0	1	-	-	-	-	-	-
Feb.	Malla 3"	12	5	2	0	0	-	42,8	50	-
	CBR	4	4	1	-	-	-	-	-	-
Marzo	Malla 3"	15	7	1	0	0	-	41,7	47,4	-
	CBR	4	5	0	-	8,2	-	-	50	-
Abril	Malla 3"	13	3	0	0	-	-	42,8	-	-
	CBR	5	7	0	4,6	8,0	-	50	47,4	-
Mayo	Malla 3"	9	6	0	0	0	-	45,5	48,6	-
	CBR	3	5	0	-	11,7	-	-	50	-
Junio	Malla 3"	9	3	0	0	-	-	45,5	-	-
	CBR	4	1	0	-	-	-	-	-	-
Julio	Malla 3"	11	4	0	0	-	-	44,0	-	-
	CBR	4	0	3	-	-	-	-	-	-
Agost	Malla 3"	6	11	0	0	0	-	48,6	44,0	-
	CBR	1	0	2	-	-	-	-	-	-
Sep.	Malla 3"	6	15	0	0	0	-	48,6	48,6	-
	CBR	3	3	0	-	-	-	-	-	-
Oct.	Malla 3"	5	5	0	0	0	-	50	50	-
	CBR	3	2	0	-	-	-	-	-	-
Nov.	Malla 3"	1	2	0	-	-	-	-	-	-
	CBR	1	0	0	-	-	-	-	-	-
Dic.	Malla 3"	7	8	0	0	0	-	47,4	-	-
	CBR "	4	1	0	-	-	-	-	-	-

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

¹ Este valor depende del número de muestras evaluadas

Valores a color muestran datos fuera de los límites de especificación

B. SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL GRANULAR UTILIZADO COMO CAPA DE SUBBASE

El resumen del análisis estadístico efectuado a los resultados de los ensayos realizados al material granular de subbase muestreado en el proyecto tanto por los laboratorios involucrados en el proyecto (control y verificación) como por el laboratorio del LanammeUCR, a lo largo del año 2013, se presentan en la Tabla 4.

Se observa que los valores obtenidos para los distintos parámetros de acuerdo a lo dispuesto en el Cartel de Licitación del proyecto y el Manual CR-2010 en general los porcentajes estimados fuera de los límites de especificación se encuentran por arriba del límite establecido. Algunos porcentajes mayores que los permitidos en la sección 107.05 del CR-2010 que se observan en la Tabla 4 son por ejemplo para el caso de la malla 1 ½" se encuentra un caso en el mes de marzo en el laboratorio de verificación, 4 casos para la No 4 y en enero, febrero y diciembre tanto en el autocontrol como en la verificación, 4 casos en la malla No 200 en los meses de febrero, agosto, septiembre y diciembre en ambos laboratorio. En el caso del CBR se pueden observar 2.

Para los parámetros de caras fracturadas, índice de durabilidad del agregado grueso y fino y para el porcentaje de abrasión, ensayos indicados en el CR-2010, no se cuenta con la suficiente cantidad de datos para realizar el análisis establecido en la sección 107.05 del Manual CR-2010, ya que se requieren al menos 5 datos, esto acorde con los datos tanto del LanammeUCR como del laboratorio de verificación de la calidad.

Es importante mencionar que el material de subbase, no se encuentra indicado en el Cartel de Licitación en la sección 29 "Pago en Función de la Calidad", pero debido a la importancia que tiene el análisis estadístico y de variabilidad en un proceso constructivo es que en esta Auditoría Técnica se decide analizar.

Tabla 4. Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras del material de subbase.

Mes	Descripción	Cantidad de datos n			Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)			Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%) ¹		
		LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme
Enero	Malla 2"	13	19	1	0,0	0,0	0,00	42,7	39,9	-
	Malla 1 ½"	13	19	1	0,0	0,1	-	42,7	39,8	-
	Malla No. 4	13	19	1	43,9	45,5	-	42,7	39,8	-
	Malla No. 200	13	19	1	37,3	15,7	-	42,7	39,8	-
	CBR	[3]	[4]	[2]	[6,0]	[4,0]	[22,2]	-	-	-
Febrero	Malla 2"	28	12	[4]	0,0	0,0	[0,0]	36,9	43,3	-
	Malla 1 ½"	28	12	[4]	2,0	0,3	[3,9]	36,9	43,3	-
	Malla No. 4	28	12	[4]	18,5	48,2	[61,6]	36,9	43,3	-
	Malla No. 200	28	12	[4]	46,7	32,1	[57,6]	36,9	43,3	-
	CBR	5	0	[3]	[15,4]	-	[99,1]	50,0	-	-
Marzo	Malla 2"	32	20	1	0,0	0,0	-	35,9	39,4	-
	Malla 1 ½"	32	20	1	4,0	42,3	-	35,9	39,4	-
	Malla No. 4	32	20	1	16,2	29,5	-	35,9	39,4	-
	Malla No. 200	32	20	1	27,7	39,0	-	35,9	39,4	-
	CBR	[4]	[4]	[1]	[3,1]	[3,5]	-	-	-	-

Mes	Descripción	Cantidad de datos n			Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)			Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%) ¹		
		LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme
Abril	Malla 2"	42	19	1	0,0	0,0	-	33,8	39,8	-
	Malla 1 ½"	42	19	1	8,7	27,7	-	33,8	39,8	-
	Malla No. 4	42	19	1	15,1	18,8	-	33,8	39,8	-
	Malla No. 200	42	19	1	24,1	12,9	-	33,8	39,8	-
	CBR	6	[3]	[1]	0,8	[6,4]	-	50,0	-	-
Mayo	Malla 2"	28	8	1	0,0	0,0	-	36,9	46,4	-
	Malla 1 ½"	28	8	1	0,9	8,1	-	36,9	46,4	-
	Malla No. 4	28	8	1	13,6	23,6	-	36,9	46,4	-
	Malla No. 200	28	8	1	25,4	19,2	-	36,9	46,4	-
	CBR	[4]	[1]	[1]	[4,1]	-	-	-	-	-
Junio	Malla 2"	18	12	[2]	0,0	0,0	[0,0]	40,2	43,3	-
	Malla 1 ½"	18	12	[2]	1,3	0,0	[30,4]	40,2	43,3	-
	Malla No. 4	18	12	[2]	14,7	17,7	[11,6]	40,2	43,3	-
	Malla No.200	18	12	[2]	12,2	12,2	[42,9]	40,2	43,3	-
	CBR	[3]	[1]	[1]	[2,5]	-	-	-	-	-
Julio	Malla 2"	14	11	0	0,0	0,0	-	42,1	44,0	-
	Malla 1 ½"	14	11	0	4,0	4,8	-	42,1	44,0	-
	Malla No. 4	14	11	10	21,7	7,7	73,6	42,1	44,0	44,7
	Malla No. 200	14	11	10	25,3	29,5	41,1	42,1	44,0	44,7
	CBR	[2]	[1]	[3]	[2,0]	-	[69,6]	-	-	-
Agosto	Malla 2"	29	12	0	0,0	0,0	-	36,6	43,3	46,4
	Malla 1 ½"	29	12	0	10,5	21,5	-	36,6	43,3	46,4
	Malla No. 4	29	12	[2]	35,1	15,8	[100,0]	36,6	43,3	46,4
	Malla No. 200	29	12	[2]	40,3	24,5	[8,1]	36,6	43,3	46,4
	CBR	[4]	[1]	[0]	0,7	-	-	-	-	-
Septiembre	Malla 2"	10	9	-	0,0	0,0	-	44,7	45,5	-
	Malla 1 ½"	10	9	-	13,1	24,9	-	44,7	45,5	-
	Malla No. 4	10	9	-	19,2	37,6	-	44,7	45,5	-
	Malla No.200	10	9	-	54,3	26,3	-	44,7	45,5	-
	CBR	[3]	[0]	-	[13,6]	-	-	-	-	-
Octubre	Malla 2"	8	6	-	0,0	0,0	-	46,4	48,6	-
	Malla 1 ½"	8	6	-	0,3	4,8	-	46,4	48,6	-
	Malla No. 4	8	6	-	46,2	27,5	-	46,4	48,6	-
	Malla No. 200	8	6	-	31,1	33,3	-	46,4	48,6	-
	CBR	[3]	[0]	-	[10,0]	-	-	-	-	-
Noviembre	Malla 2"	[4]	[2]	-	[0,0]	[0,0]	-	-	-	-
	Malla 1 ½"	[4]	[2]	-	[0,0]	[69,6]	-	-	-	-
	Malla No. 4	[4]	[2]	-	[77,5]	[10,1]	-	-	-	-
	Malla No. 200	[4]	[2]	-	[98,7]	[74,6]	-	-	-	-
	CBR	0	0	-	-	-	-	-	-	-
Diciembre	Malla 2"	[2]	6	-	-	0,0	-	-	47,4	-
	Malla 1 ½"	[2]	6	-	[0,0]	6,4	-	-	47,4	-
	Malla No. 4	[2]	6	-	[97,4]	48,4	-	-	47,4	-
	Malla No.200	[2]	6	-	[68,8]	58,6	-	-	47,4	-
	CBR	[2]	[1]	-	[30,4]	-	-	-	-	-

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

¹ Este valor depende del número de muestras evaluadas

Valores a color muestran datos fuera de los límites

[...]el cartel de licitación no incluye análisis para muestras pequeñas, se analizan estadísticamente para tener una magnitud de referencia

C. SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL UTILIZADO COMO CAPA DE BASE ESTABILIZADA

A partir de ensayos a especímenes moldeados en sitio de la base estabilizada BE-35, el LanammeUCR obtuvo las resistencias promedios a la compresión a los 7 días de las muestras ensayadas a lo largo del periodo de estudio (año 2013). Posteriormente, se analizaron estadísticamente para determinar el grado de conformidad con la especificación establecida. De igual forma se aplicó el análisis a los resultados de los laboratorios de Control y Verificación de la Calidad. En la Tabla 5 se presenta un resumen de los porcentajes estimados fuera de los rangos para las muestras del material de base estabilizada.

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-029B-14), donde se precisó un valor máximo de resistencia a la compresión para bases estabilizadas BE-35 de 50 kg/cm², 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/cm² respectivamente), es criterio de esta Auditoría que el valor promedio indicado de 40 kg/cm², hace referencia a la media de los datos analizados y no a un valor mínimo o promedio mínimo. Esto en relación a la descripción realizada anteriormente.

En la Tabla 5 se muestra un detalle del análisis estadístico de los resultado de ensayos granulométricos y de resistencia a la compresión para el material de Base Estabilizada, en cuanto al 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.

Cabe destacar que en bases estabilizadas el objetivo es tener un diseño de mezcla balanceado, en donde el cemento que se utiliza (que está asociado al valor de resistencia a la compresión a alcanzar) sea suficiente para que la base estabilizada resultante sea resistente, durable y relativamente impermeable, pero no tanto como para que genere otros tipos de deterioros en el pavimento, esto de acuerdo con la Guía de Bases Tratadas con Cemento (CTB) de la PCA (Portland Cement Association).

Tabla 5. Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras del material de base estabilizada BE-35.

Mes	Descripción	Cantidad de datos n			Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)			Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%) ¹		
		LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme
Enero	Malla 2"	26	22	-	58%	62%	-	48%	49%	-
	Malla 1 ½"	26	22	-	3%	7%	-	48%	49%	-
	Malla No. 4	26	22	-	0%	8%	-	48%	49%	-
	Malla No. 200	26	22	-	18%	18%	-	48%	49%	-
	Resistencia BE-35 (Criterio Lanamme)	64	26	2	79%	75%	-	38%	38%	-
	Resistencia BE-35	64	26	-	0%	1%	-	38%	38%	-
Febrero	Malla 2"	24	12	-	0%	0%	-	48%	53%	-
	Malla 1 ½"	24	13	-	7%	41%	-	48%	53%	-
	Malla No. 4	24	11	-	13%	11%	-	48%	53%	-
	Malla No. 200	24	11	-	7%	6%	-	48%	53%	-
	BE-35 (Criterio Lanamme)	44	14	1	51%	47%	-	38%	38%	-
	BE-35	44	14	-	1%	5%	-	38%	38%	-
Marzo	Malla 2"	22	11	-	0%	61%	-	49%	55%	-
	Malla 1 ½"	22	11	-	0%	0%	-	49%	55%	-
	Malla No. 4	22	11	-	21%	39%	-	49%	55%	-
	Malla No. 200	22	11	-	1%	2%	-	49%	55%	-
	BE-35 (Criterio Lanamme)	39	19	4	42%	59%	-	38%	44%	-
	BE-35	39	19	-	0%	1%	-	38%	44%	-
Abril	Malla 2"	27	15	-	0%	0%	-	48%	51%	-
	Malla 1 ½"	27	15	-	0%	0%	-	48%	51%	-
	Malla No. 4	27	13	-	13%	16%	-	48%	51%	-
	Malla No. 200	27	13	-	0%	3%	-	48%	51%	-
	BE-35 (Criterio Lanamme)	38	14	2	69%	66%	-	40%	47%	-
	BE-35	38	14	-	0%	1%	-	40%	47%	-
Mayo	Malla 2"	14	11	-	0%	0%	-	53%	55%	-
	Malla 1 ½"	14	11	-	1%	5%	-	53%	55%	-
	Malla No. 4	14	11	-	0%	19%	-	53%	55%	-
	Malla No. 200	14	11	-	9%	3%	-	53%	55%	-
	BE-35 (Criterio Lanamme)	23	19	2	87%	81%	-	42%	44%	-
	BE-35	23	19	-	0%	2%	-	42%	44%	-
Junio	Malla 2"	17	12	-	0%	0%	-	51%	53%	-
	Malla 1 ½"	17	12	-	0%	0%	-	51%	53%	-
	Malla No. 4	17	12	-	11%	11%	-	51%	53%	-
	Malla No.200	17	12	-	9%	1%	-	51%	53%	-
	BE-35 (Criterio Lanamme)	21	13	2	62%	51%	-	44%	47%	-
	BE-35	21	13	-	4%	13%	-	44%	47%	-
Julio	Malla 2"	17	16	-	0%	0%	-	51%	51%	-
	Malla 1 ½"	17	16	-	9%	9%	-	51%	51%	-
	Malla No. 4	17	16	-	5%	9%	-	51%	51%	-
	Malla No. 200	17	16	-	0%	0%	-	51%	51%	-
	BE-35 (Criterio Lanamme)	27	11	-	21%	21%	-	42%	49%	-
	BE-35	27	11	-	0%	0%	-	42%	49%	-
Agosto	Malla 2"	17	17	-	0%	65%	-	51%	51%	-
	Malla 1 ½"	17	17	-	8%	1%	-	51%	51%	-
	Malla No. 4	17	17	-	42%	8%	-	51%	51%	-
	Malla No. 200	17	17	-	2%	2%	-	51%	51%	-
	BE-35 (Criterio Lanamme)	37	31	1	56%	65%	-	40%	40%	-
	BE-35	37	31	-	2%	7%	-	40%	40%	-
Septiembre	Malla 2"	23	23	-	0%	100%	-	48%	48%	-
	Malla 1 ½"	23	23	-	0%	100%	-	48%	48%	-
	Malla No. 4	23	23	-	4%	100%	-	48%	48%	-
	Malla No.200	23	0	-	0%	0%	-	48%	0%	-
	BE-35 (Criterio Lanamme)	15	32	1	69%	46%	-	46%	40%	-

Mes	Descripción	Cantidad de datos n			Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)			Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%) ¹		
		LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme
	BE-35	15	32	-	0%	18%	-	46%	40%	-
Octubre	Malla 2"	27	18	-	0%	0%	-	48%	49%	-
	Malla 1 ½"	27	18	-	1%	0%	-	48%	49%	-
	Malla No. 4	27	18	-	0%	8%	-	48%	49%	-
	Malla No. 200	27	18	-	0%	0%	-	48%	49%	-
	BE-35 (Criterio Lanamme)	23	31	2	55%	29%	-	42%	40%	-
	BE-35	23	31	-	1%	11%	-	42%	40%	-
Noviembre	Malla 2"	25	18	-	0%	0%	-	48%	49%	-
	Malla 1 ½"	25	18	-	9%	4%	-	48%	49%	-
	Malla No. 4	25	18	-	4%	5%	-	48%	49%	-
	Malla No. 200	25	18	-	0%	0%	-	48%	49%	-
	BE-35 (Criterio Lanamme)	40	50	1	77%	66%	-	42%	38%	-
	BE-35	40	50	-	1%	8%	-	42%	38%	-
Diciembre	Malla 2"	16	10	-	0%	0%	-	51%	55%	-
	Malla 1 ½"	16	10	-	0%	0%	-	51%	55%	-
	Malla No. 4	16	10	-	0%	0%	-	51%	55%	-
	Malla No.200	16	10	-	0%	0%	-	51%	55%	-
	BE-35 (Criterio Lanamme)	49	42	-	91%	85%	-	38%	40%	-
	BE-35	49	42	-	0%	1%	-	38%	40%	-

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

¹ Este valor depende del número de muestras evaluadas Valores a color muestran datos fuera de los límites

Tal y como se puede observar de los resultados de la Tabla 5, 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 son mayores al porcentaje máximo permitido en todos los meses del año 2013, excepto en julio (Ver Tabla 5), caso contrario cuando para el análisis no se considera un valor máximo.

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 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.

Del análisis realizado se logra determinar que más del 45% de todos los valores de resistencia se encuentran por encima del valor considerado como máximo equivalente a 50kg/cm². Mayor relevancia toma este análisis si se considera que aproximadamente un 20% de los datos analizados tienen una resistencia entre 70 y 110 kg/cm². Indica la Asociación de Cemento Portland, que a partir de resistencias cercanas a 60kg/cm² se pueden producir agrietamientos considerables en la capa de material estabilizado; que en el caso de capa de soporte de losas de concreto, puede ser desfavorable ya que la presencia de humedad

podría provocar el arrastre de finos e incidir en el comportamiento de las losas (fracturamiento, descalce, entre otras). Cabe recalcar que el valor promedio de los datos acorde con la especificación especial incluida en el Cartel de Licitación del proyecto en cuestión debe ser de 40kg/cm^2 , tal como se observa en el Gráfico 1, este tiene un porcentaje de menos de 17% cuando debería estar cercano al 50% (valor promedio).

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.

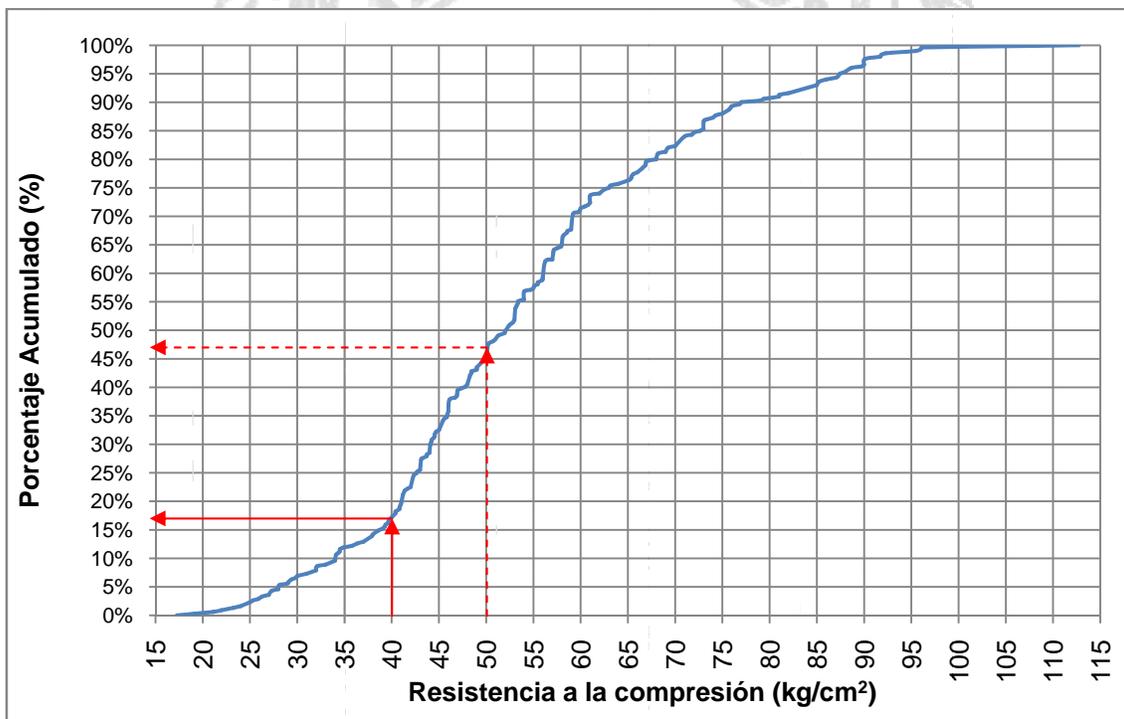


Gráfico 1. Porcentaje acumulado de valores de resistencia a la compresión de cilindros de base estabilizada para las muestras de los dos laboratorio involucrados en el proyecto y del LanammeUCR.

A continuación se muestran tres gráficos donde se representan las resistencia a la compresión de cilindros de base estabilizada para los laboratorios involucrados en el proyecto y del LanammeUCR.

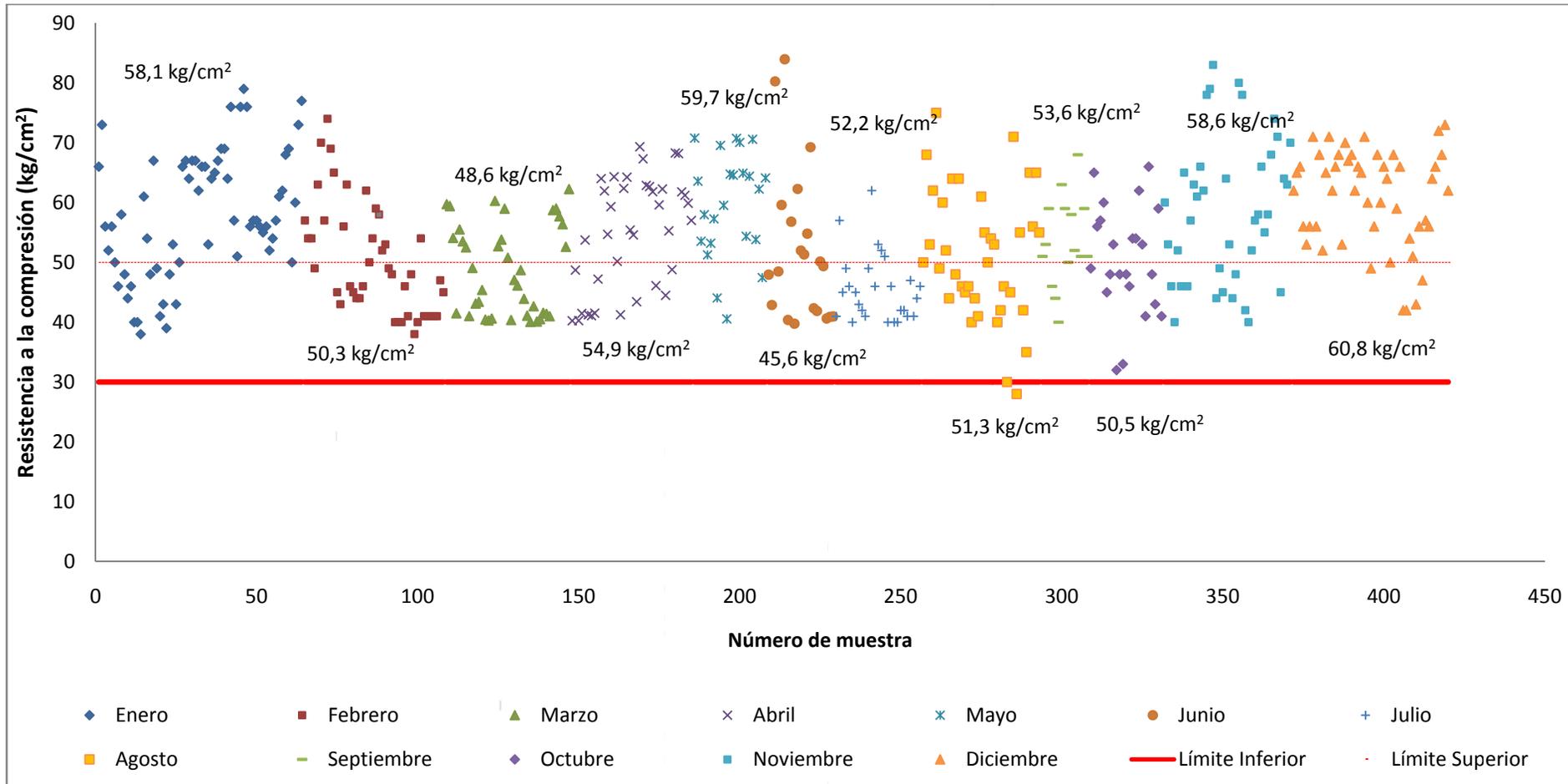


Gráfico 2. Resultados de resistencia a la compresión para el material de la Base Estabilizada BE-35 del proyecto Cañas-Liberia, según datos de Control de Calidad (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos)

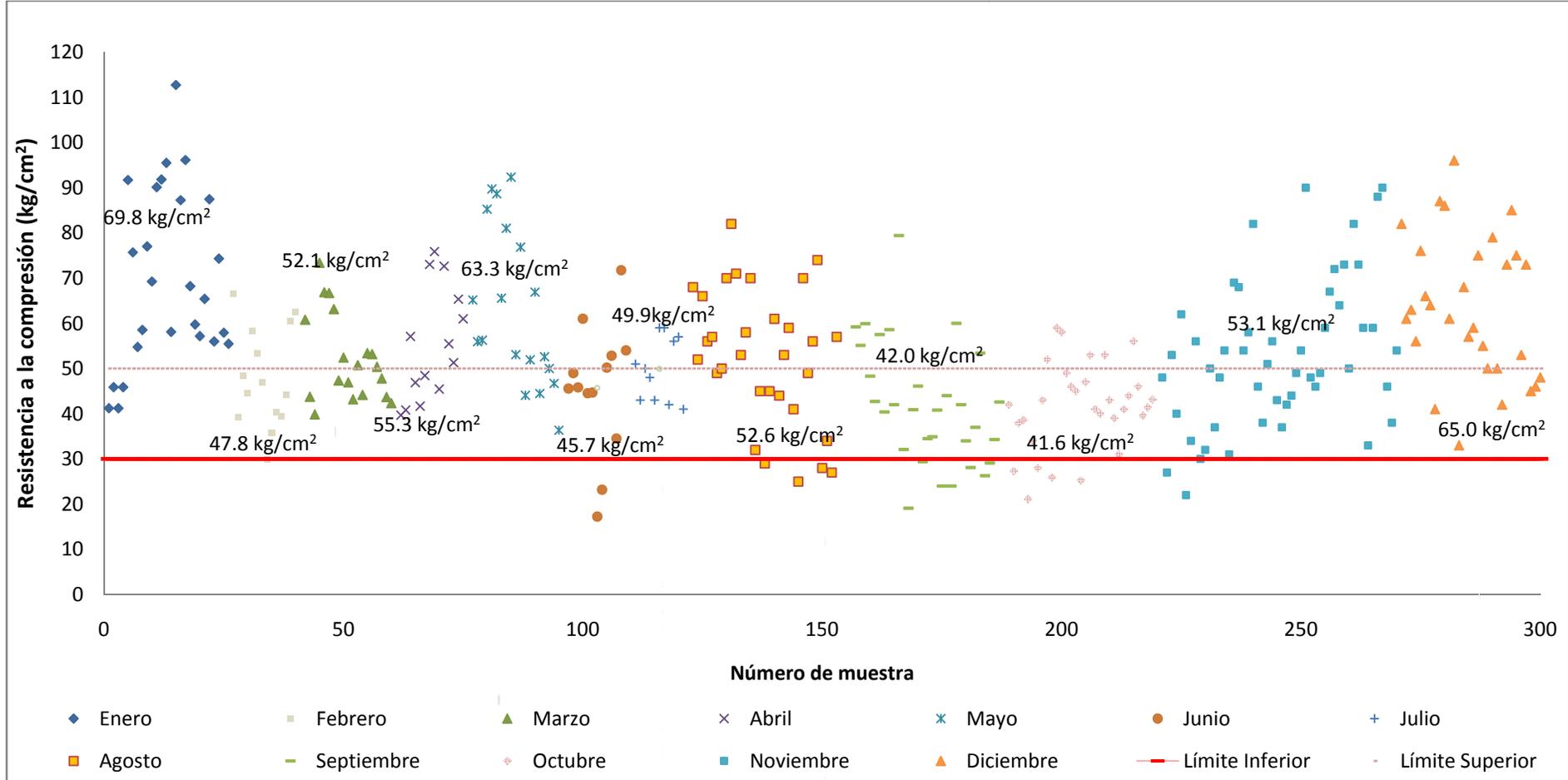


Gráfico 3. Resultados de resistencia a la compresión para el material de la Base Estabilizada BE-35 del proyecto Cañas-Liberia, según datos de Verificación de Calidad (Consortio C&E)

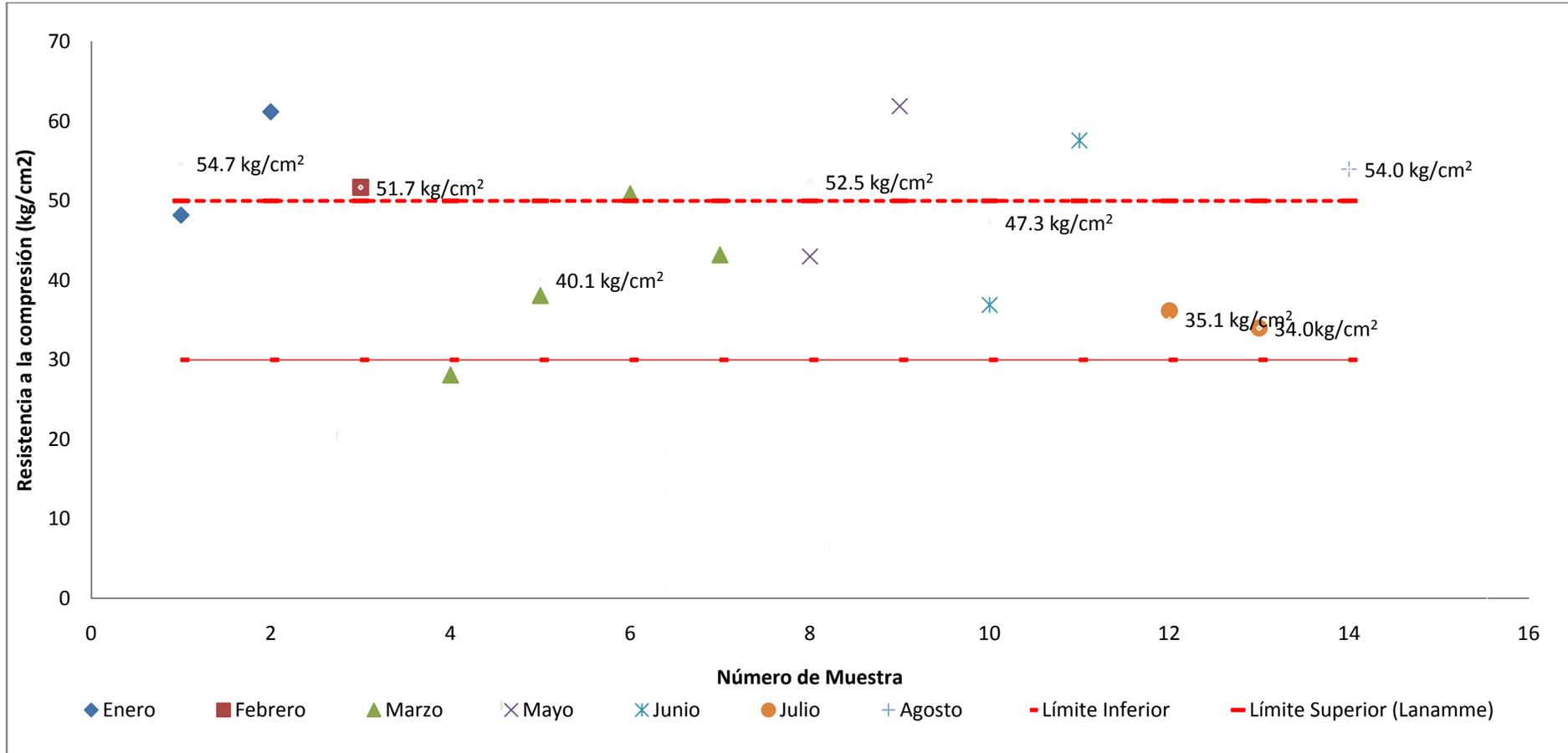


Gráfico 4. Resultados de resistencia a la compresión para el material de la Base Estabilizada BE-35 del proyecto Cañas-Liberia, según datos del LanammeUCR.

D. SOBRE LOS RESULTADOS DEL CONCRETO UTILIZADO COMO PAVIMENTO RIGIDO

De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados al concreto del pavimento rígido muestreado en el proyecto tanto por el laboratorio del LanammeUCR como por los laboratorios de verificación y control de calidad, durante el año 2013, se realizó un análisis estadístico de cumplimiento con las especificaciones presentando en la Tabla 6 el porcentaje estimado fuera de especificación. Se observa que los valores obtenidos para los distintos parámetros considerados en general cumplen con los rangos de especificación establecidos en el Cartel de Licitación del proyecto en estudio.

En general la temperatura de colocación de la muestra ronda desde los 28 hasta los 32 grados centígrados (valor máximo establecido), para el caso de parámetro del revenimiento de la mezcla, este presenta una alta variabilidad perceptible a partir del mes de octubre de 2013 en los resultados de verificación de calidad y del LanammeUCR. Para este parámetro se encuentran valores desde 15 mm hasta 90 mm, tal y como se puede observar en los gráficos del 8 al 10.

Los valores de resistencia a la flexo tracción en general cumplen con el límite mínimo de 50 kg/cm², establecido en el Cartel de Licitación del proyecto en cuestión a lo largo del periodo de estudio. Cabe destacar que es en los primeros meses de colocación del concreto donde se presentan valores mayores al porcentaje máximo permitido, evidenciando un posible ajuste del diseño de mezcla y del proceso productivo en planta, esto se representa en los gráficos del 5 al 7.

Tabla 6. Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras del material de concreto

Mes	Descripción	Cantidad de datos n			Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)			Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%) ¹		
		LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme
Abril	Temperatura	4	0	1	-	0%	-	-	-	-
	Revenimiento	4	0	1	-	-	-	-	-	-
	Resistencia a los 28 días	-	3	2	-	-	-	-	-	-
Mayo	Temperatura	19	23	1	34%	11%	-	49%	48%	-
	Revenimiento	19	27	1	16%	31%	-	44%	42%	-
	Resistencia a los 28 días	10	27	2	16%	65%	-	49%	42%	-
Junio	Temperatura	19	27	1	0%	0%	-	49%	48%	-
	Revenimiento	19	33	1	21%	0%	-	44%	40%	-
	Resistencia a los 28 días	20	33	4	0%	42%	-	44%	40%	-
Julio	Temperatura	19	24	1	0%	2%	-	49%	48%	-
	Revenimiento	19	24	1	21%	36%	-	44%	42%	-

Mes	Descripción	Cantidad de datos n			Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)			Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%) ¹		
		LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme	LGC	Cacisa	Lanamme
	Resistencia a los 28 días	19	22	2	5%	13%	-	44%	44%	-
Agosto	Temperatura	24	20	1	0%	0%	-	48%	49%	-
	Revenimiento	24	37	1	31%	24%	-	42%	40%	-
	Resistencia a los 28 días	26	37	2	6%	1%	-	42%	40%	-
Septiembre	Temperatura	19	22	1	0%	0%	-	49%	49%	-
	Revenimiento	19	22	1	50%	46%	-	44%	44%	-
	Resistencia a los 28 días	44	58	4	16%	21%	-	38%	38%	-
Octubre	Temperatura	24	25	1	0%	0%	-	48%	48%	-
	Revenimiento	24	25	1	50%	58%	-	42%	42%	-
	Resistencia a los 28 días	25	65	2	2%	28%	-	42%	38%	-
Noviembre	Temperatura	23	9	1	1%	0%	-	48%	57%	-
	Revenimiento	23	71	1	58%	61%	-	42%	36%	-
	Resistencia a los 28 días	23	69	2	2%	27%	-	42%	36%	-
Diciembre	Temperatura	42	72	-	0%	0%	-	46%	41%	-
	Revenimiento	42	87	-	50%	64%	-	40%	36%	-
	Resistencia a los 28 días	42	86	-	8%	4%	-	40%	36%	-

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

Valores a color muestran datos fuera de los límites

¹ Este valor depende del número de muestras evaluadas

Resistencia medida a la flexotracción a los 28 días

A continuación se muestra de manera gráfica los valores de resistencia a la flexo tracción de vigas de concreto muestreadas y ensayadas, así como resultados de ensayo de revenimiento realizados por los laboratorios de control y verificación de la calidad y por el LanammeUCR, a lo largo del periodo de estudio.

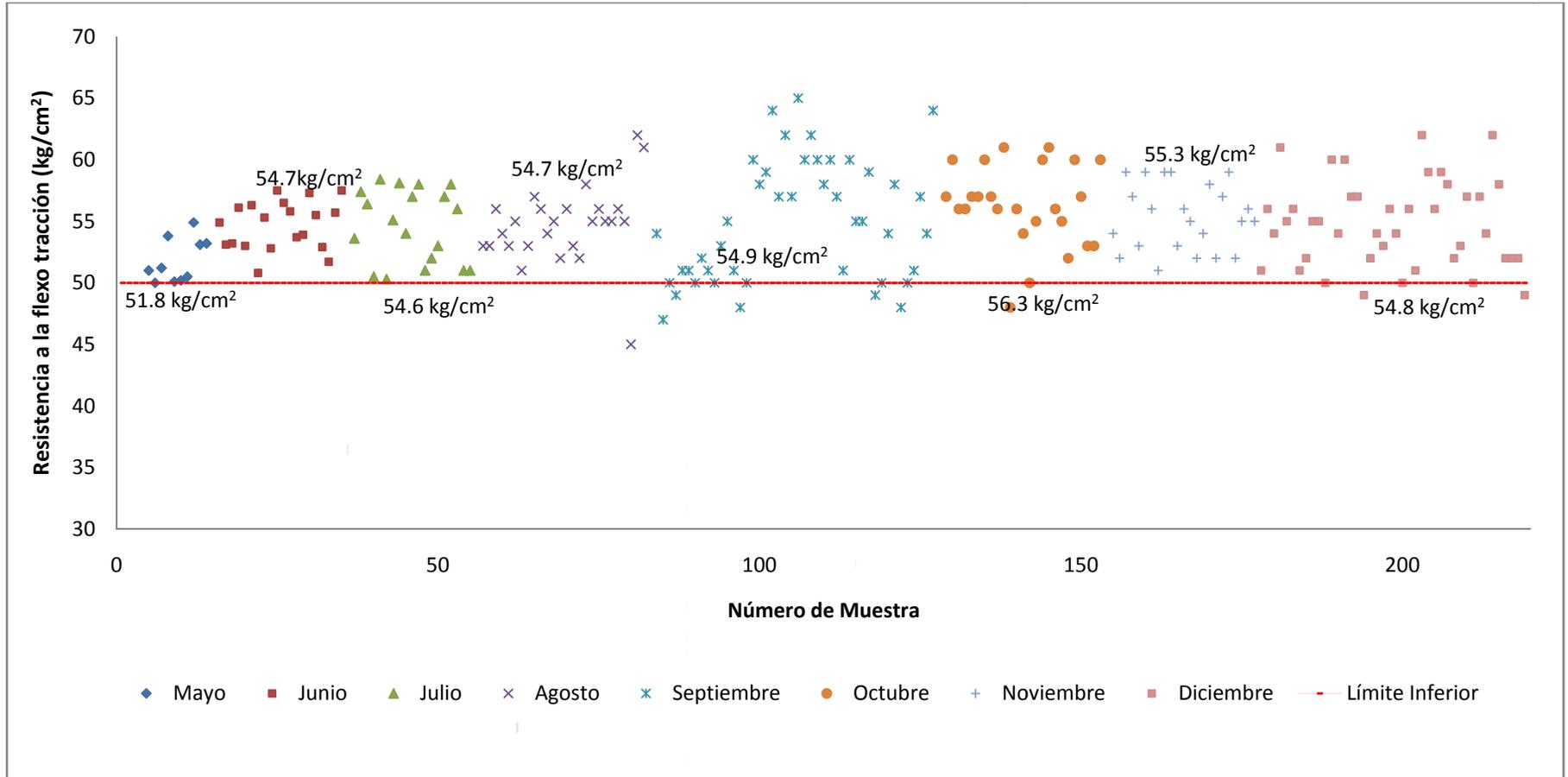


Gráfico 5. Resultados de resistencia a la flexo-tracción para el concreto del pavimento rígido del proyecto Cañas-Liberia, según datos del Laboratorio de control de calidad (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos).

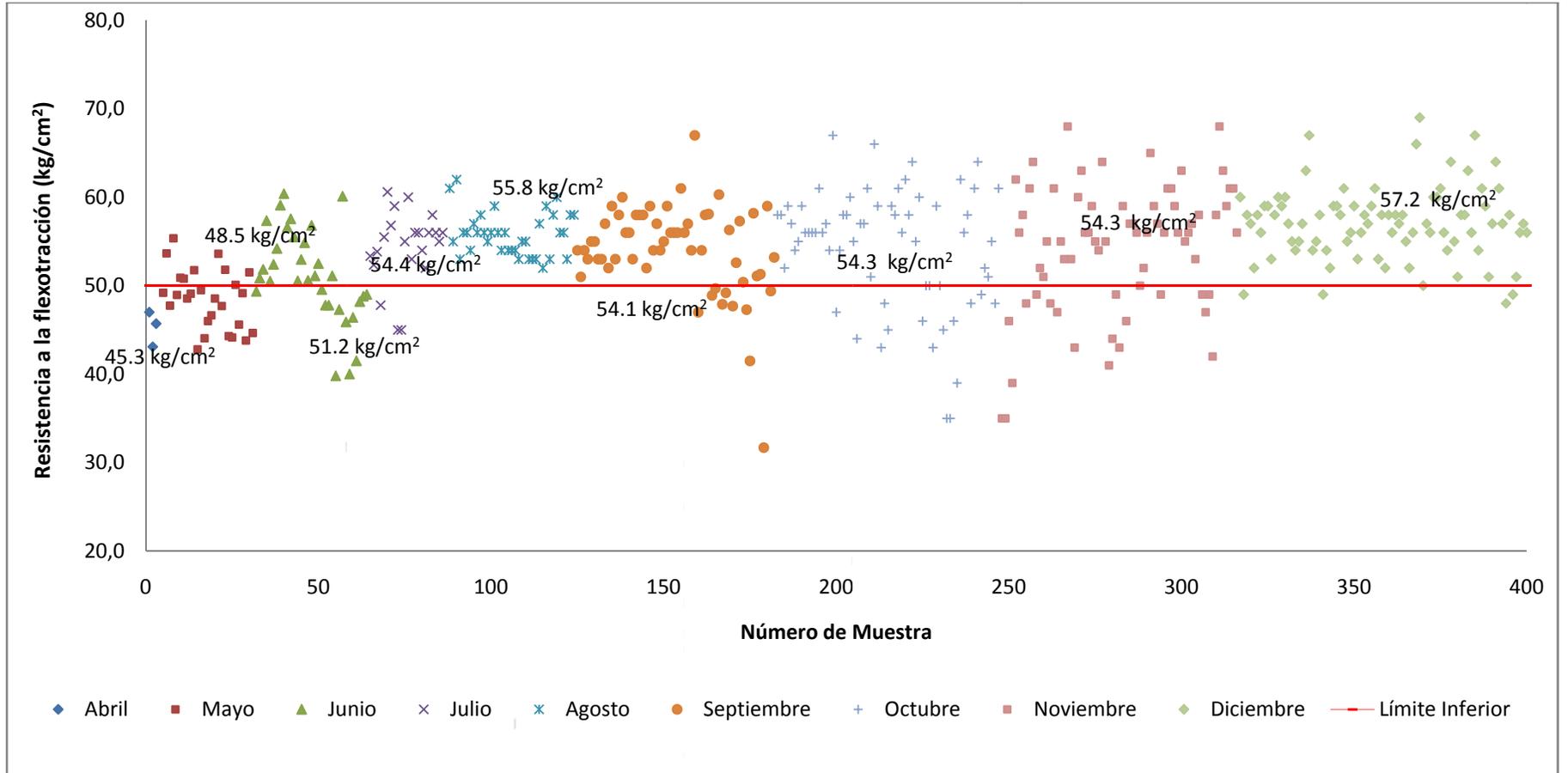


Gráfico 6. Resultados de resistencia a la flexo-tracción para el concreto del pavimento rígido del proyecto Cañas-Liberia, según datos del Laboratorio de verificación de calidad (Consortio C&E).

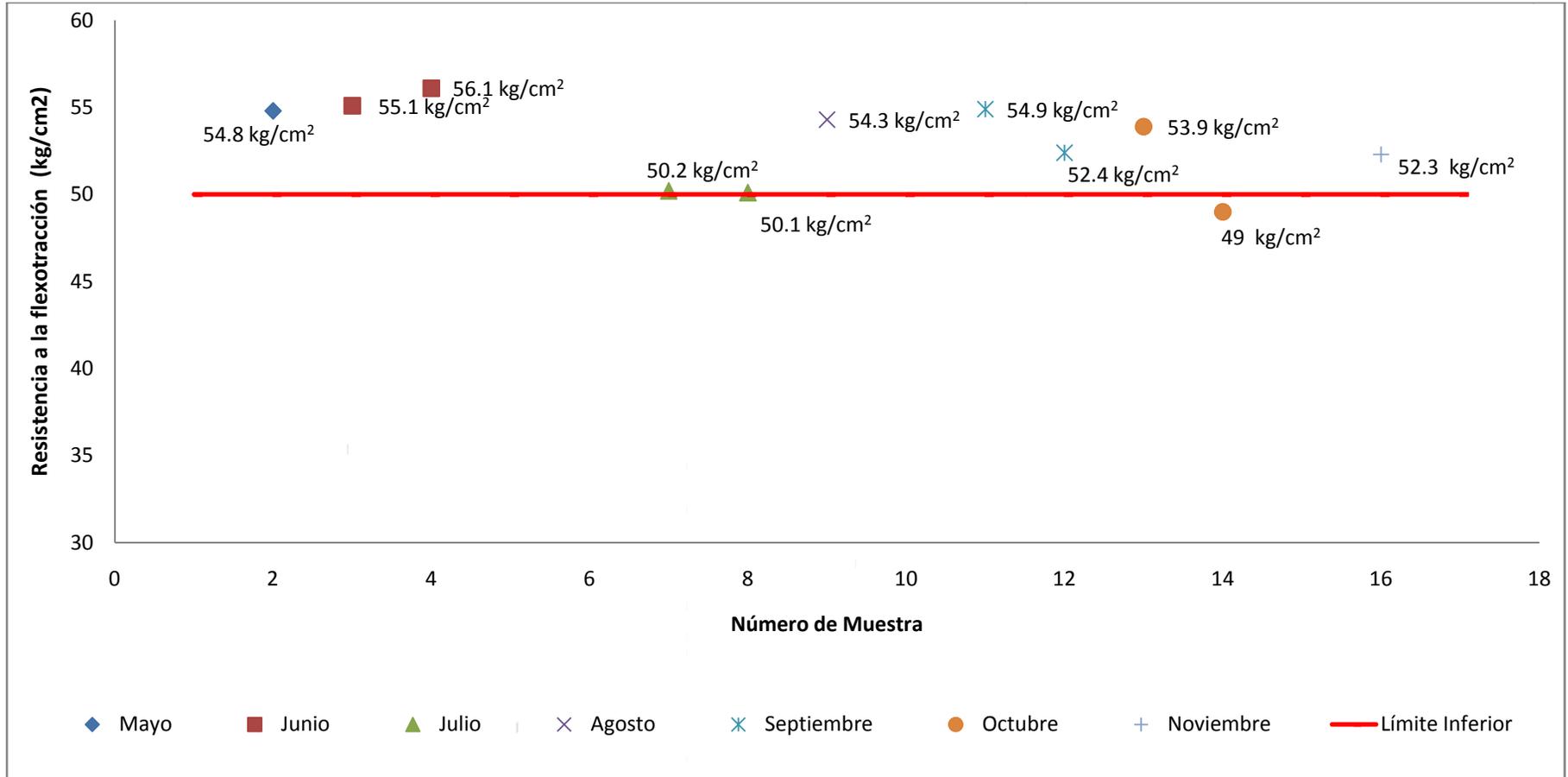


Gráfico 7. Resultados de resistencia a la flexo-tracción para el concreto del pavimento rígido del proyecto Cañas-Liberia, según datos del Laboratorio del LanammeUCR

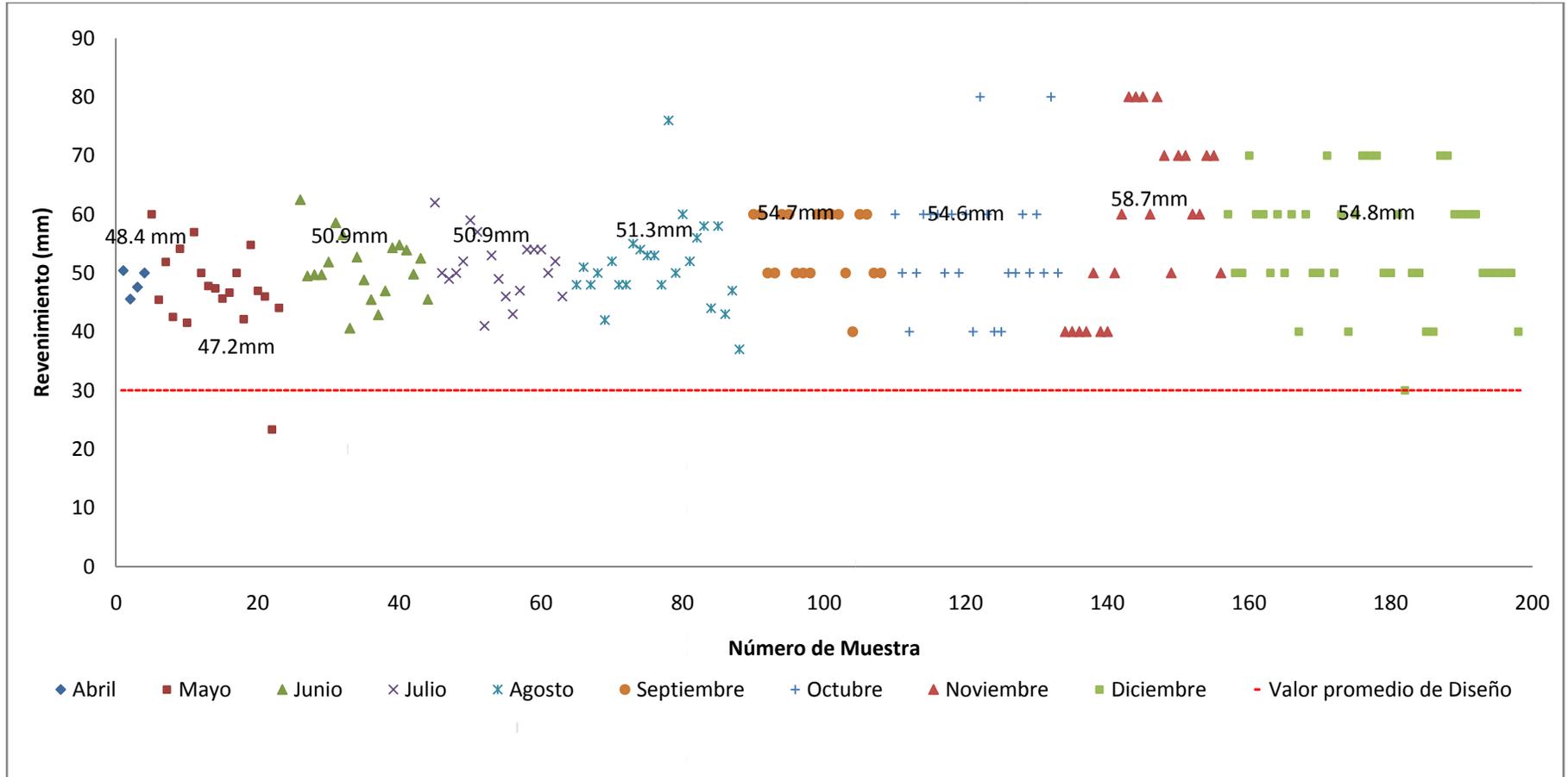


Gráfico 8. Resultados de de valor de revenimiento para el concreto del pavimento rígido del proyecto Cañas-Liberia, según datos del Laboratorio de control de calidad (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos)

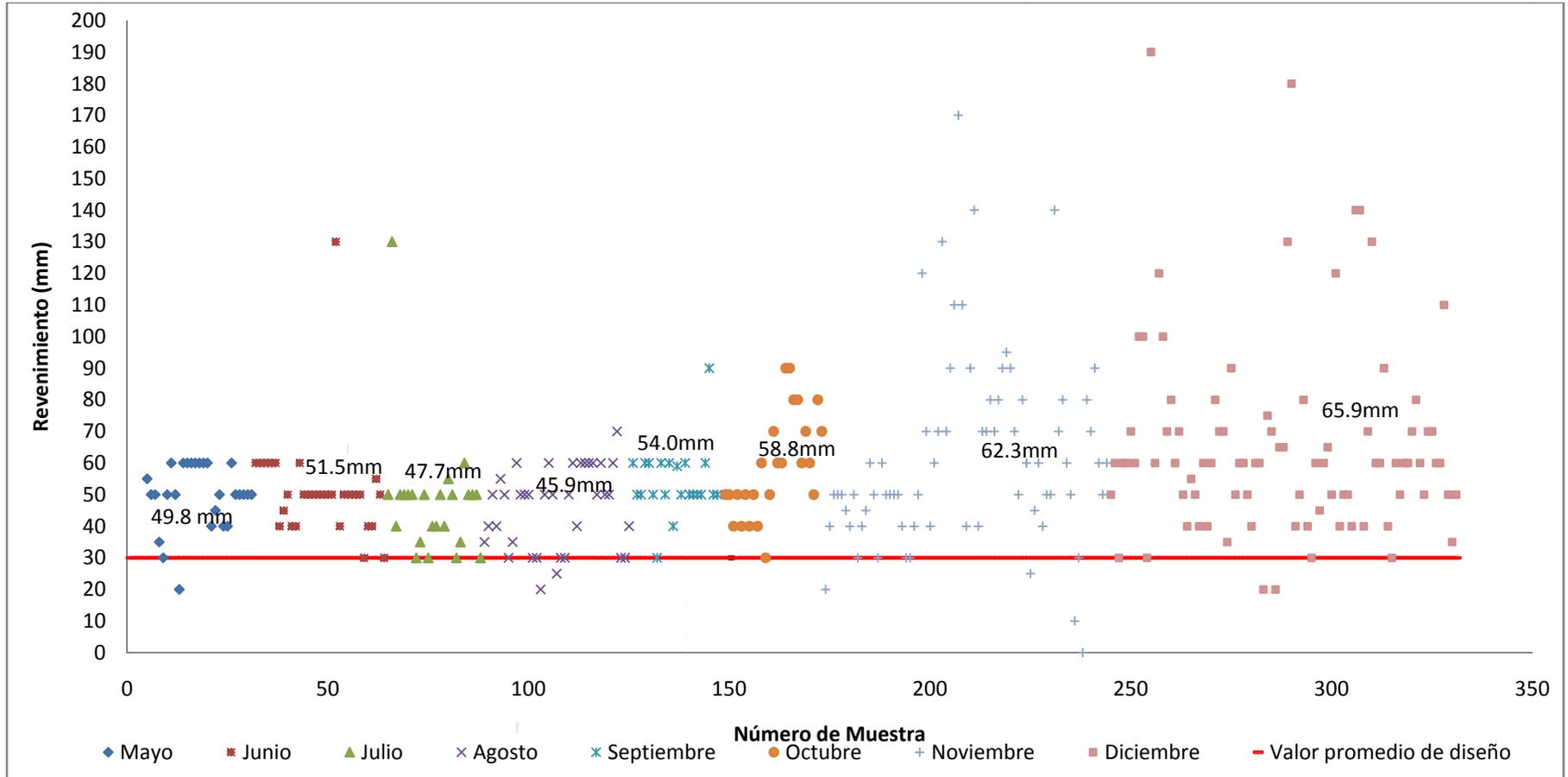


Gráfico 9. Resultados de de valor de revenimiento para el concreto del pavimento rígido del proyecto Cañas-Liberia, según datos del Laboratorio de verificación de calidad (Consorcio C&E)

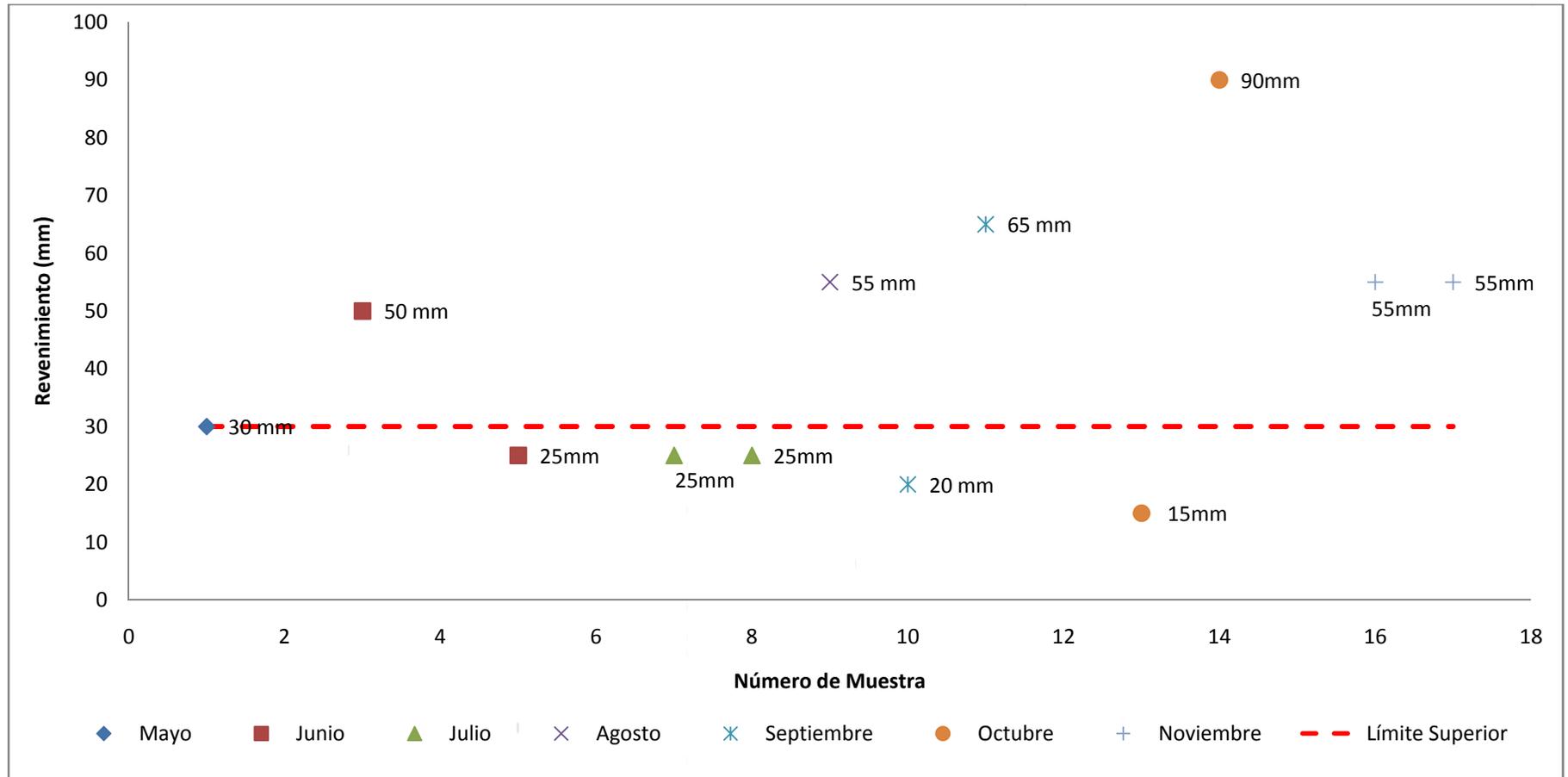


Gráfico 10. Resultados de de valor de revenimiento para el concreto del pavimento rígido del proyecto Cañas-Liberia, según datos del Laboratorio del LanammeUCR

11. CONCLUSIONES

11.1 En relación con el material de préstamo del proyecto Cañas-Liberia, del análisis granulométrico realizado utilizando tanto los valores obtenidos por ensayos realizados por el laboratorio de LanammeUCR como los reportados por la verificación y control de calidad se obtuvo que los valores por lo general se encuentran dentro de los rangos de la especificación indicada en el Cartel de Licitación del proyecto.

El procedimiento de compactación utilizado (energía utilizada, espesor de capas, entre otros), no elimina efectivamente el sobretamaño y que existe un porcentaje de material retenido mayor al requerido en la especificación cartelaria colocado en el proyecto en mención, situación que se pudo evidenciar ya que el muestreo realizado por el LanammeUCR es obtenido de la capa final, una vez conformado y compactado el material, y este al momento del muestreo todavía presentaba sobretamaño.

11.2 Para el material de Subbase se puede observar que en los datos analizados de los tres laboratorios involucrados en este estudio se presentan valores por encima del límite establecido por la especificación en las mallas No 4 y No 200 a nivel granulométrico. Inconsistencia en la graduación granulométrica de los agregados podría ocasionar problema a la hora de densificar el material en campo.

11.3 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 el 85% de los resultados se obtienen por encima del valor promedio establecido de 40 kg/cm^2 (límite promedio). Además aproximadamente el 20% de las muestras exhiben valores entre 70 kg/cm^2 y 100 kg/cm^2 .

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.

11.4 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 kg/cm^2 e igualmente el parámetro de temperatura se encuentran dentro de los límites especificados. No así para el caso del revenimiento que presenta una importante variabilidad a lo largo del periodo de estudio.

11.5 La aplicación de herramientas estadísticas para el control de procesos de producción de materiales que se incorporan a un proyecto, es de vital importancia ya que evalúan no sólo los resultados fuera de los límites de especificación, sino que también permiten conocer la magnitud de la variabilidad del proceso, brindando la oportunidad de inferir la probabilidad de que el material cumpla o no con el nivel de calidad establecido por las especificaciones como resultado de la variabilidad inherente del proceso. Además, la información generada es un indicador de la exactitud (cercanía al valor meta) y precisión (variabilidad) de un proceso productivo o constructivo, lo que permitirá tomar las acciones oportunas para corregir cualquier deficiencia o mejorar estos procesos.

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** Velar por la aplicación de herramientas estadísticas para evaluar tanto el cumplimiento de especificaciones como la variabilidad de los procesos de producción de materiales que se incorporan a las obras, para que de esta forma se aplique el pago en función del nivel de calidad de los materiales.
- 1.2** 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.

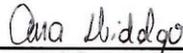
Equipo Auditor



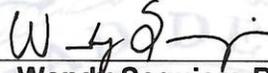
Ing. Víctor Cervantes Calvo.
Auditor Técnico, LanammeUCR



Ing. Francisco Fonseca Chaves.
Auditor Técnico, LanammeUCR



Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo.
Auditora Técnica, LanammeUCR



Ing. Wendy Sequiera Rojas, MSc
Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica LanammeUCR

Aprobado por:



Ing. Luis Guillermo Loria Salazar, PhD.
Coordinador General Programa de Infraestructura del Transporte

Visto bueno de legalidad



Lic. Miguel Chacón Alvarado.
Asesor Legal LanammeUCR