



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE  
INFRAESTRUCTURA DEL  
TRANSPORTE

## Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-047-13

### **ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO, SUBBASE Y BASE ESTABILIZADA.**

**PERIODO DE MUESTREO: ENERO A MARZO 2013**

***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 Capit.7, Art. 68 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

San José, Costa Rica  
Agosto, 2013

<b>1. Informe Final</b> Informe de Auditoría Técnica LM-PI-AT-047-13	<b>2. Copia No.</b> 1	
<b>3. Título y subtítulo:</b> ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO, SUBBASE Y BASE ESTABILIZADA DEL PROYECTO "AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO. 1, CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, SECCIÓN CAÑAS-LIBERIA.", LPI NO. 2011LI-000004-0DI00.	<b>4. Fecha del Informe</b> Agosto 2013	
<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> --**--		
<b>9. Resumen</b>  <p><i>Calidad del material de préstamo colocado en el proyecto:</i> Los resultados de material granular de préstamo para muestras ensayadas por el LanammeUCR muestran incumplimientos en la granulometría. En el caso del laboratorio de verificación de calidad (Consortio CACISA &amp; Euroestudios) y el laboratorio del control de calidad por parte del contratista (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos) se encuentran dentro de los rangos de la especificación indicada en el Cartel de Licitación del proyecto.</p> <p><i>Calidad del material de subbase colocado en el proyecto:</i> Los resultados de material granular de subbase son variables para los tres laboratorios en estudios, tanto para muestras ensayadas o en los parámetros analizados por ejemplo datos del LanammeUCR presentan incumplimientos en análisis granulométrico, CBR e índice de durabilidad. En el caso del laboratorio de verificación de calidad (Consortio CACISA &amp; Euroestudios) en relación con granulometría y plasticidad se observan incumplimientos en los límites establecidos por la especificación. Para el caso del laboratorio del control de calidad por parte del contratista (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos) los resultados cumplen con las especificaciones del cartel del licitación.</p> <p><i>Calidad del material de base estabilizada colocado en el proyecto:</i> Los resultados de resistencia a la compresión de las muestras ensayadas por el LanammeUCR de base estabilizada BE-35 son en general mayores al promedio establecido en el Cartel de Licitación y uno de ellos menor al valor establecido como mínimo. En el caso del laboratorio de verificación de calidad (Cacisa &amp; Euroestudios) están por encima del promedio establecido en el Cartel de Licitación, con un promedio de 58.8 kg/cm<sup>2</sup> para el grupo de datos en estudio lo que resulta en un aumento de casi 20 kg/cm<sup>2</sup> en la resistencia promedio requerida. Para el laboratorio de control de calidad (L.G.C Ingeniería en Pavimentos) la mayoría de los datos está por encima del promedio, con un promedio de 53.3 kg/cm<sup>2</sup> para el grupo de datos en estudio lo que resulta en un aumento de casi 13 kg/cm<sup>2</sup> en la resistencia promedio requerida.</p> <p><i>Resultados de medición del índice de regularidad internacional (IRI) sobre secciones de Base Estabilizada:</i> El valor del índice de regularidad internacional (IRI) característico promedio calculado en secciones del proyecto a nivel de base estabilizada es de 5,0m/km con una base de medición de 200 metros.</p>		
<b>10. Palabras clave</b> Material de Préstamo, Material de Subbase, Graduación B, Material de Base Estabilizada, Resistencia, Relleno, Granulometría, IRI.	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 57



**INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA**  
**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 de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA:**  
Ing. Luís Guillermo Loría Salazar, PhD

**Coordinadora de Auditoría Técnica:**  
Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.

**Auditores:**  
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 evaluación de la calidad del material de préstamo, subbase y base estabilizada en el proyecto, para el periodo de muestreo del mes de enero al mes de marzo del 2013.

**Referencias:**  
- Informes de laboratorio: I-0073-13,I-0077-13,I-0098-13,I-0114-13,I-0154-13,I-0149-13,I-0158-13,I-0194-13,I-0232-13,I-0280-13,I-0338-13,I-0246-13,I-0315-13, I-0394-13 e I-0323-2013.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. FUNDAMENTACIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVO DE LA AUDITORÍA TÉCNICA .....</b>	<b>8</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y UBICACIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>4. ANTECEDENTES .....</b>	<b>12</b>
<b>5. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA .....</b>	<b>12</b>
<b>6. ALCANCE DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....</b>	<b>14</b>
<b>7. RESPONSABLES DEL PROYECTO.....</b>	<b>15</b>
<b>8. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR.....</b>	<b>15</b>
<b>9. MARCO TEORICO.....</b>	<b>16</b>
EN LA SIGUIENTE SECCIÓN SE EXPLICAN CONCEPTOS Y CRITERIOS IMPORTANTES PARA EL DESARROLLO Y COMPRESIÓN DEL PRESENTE INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA. ....	16
9.1 VALORACIÓN ESTADÍSTICA DE LA CALIDAD DEL TRABAJO REALIZADO.....	16
9.2 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ESTABILIZACIÓN O MEJORAMIENTO DE BASES.....	17
9.3 ASPECTOS RELACIONADOS CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA BE-35.....	19
9.4 BASES EN PAVIMENTOS DE CONCRETO .....	20
<b>10. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN VERSIÓN PRELIMINAR LM-PI-AT-047B-13.....</b>	<b>23</b>
<b>11. OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA .....</b>	<b>23</b>
11.1 RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA .....	24
A. <i>SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL GRANULAR UTILIZADO COMO CAPA DE PRÉSTAMO DE ACUERDO A LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR, LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD (L.G.C INGENIERÍA EN PAVIMENTOS) Y EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD (CONSORCIO CACISA &amp; EUROESTUDIOS) .....</i>	<i>24</i>
B. <i>SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL GRANULAR UTILIZADO COMO CAPA DE SUBBASE DE ACUERDO A LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR, LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD (L.G.C INGENIERÍA EN PAVIMENTOS) Y EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD (CONSORCIO CACISA &amp; EUROESTUDIOS).....</i>	<i>31</i>

C. <i>SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL UTILIZADO COMO CAPA DE BASE ESTABILIZADAS DE ACUERDO A LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS ENSAYADO POR EL LANAMMEUCR, LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD (L.G.C INGENIERÍA EN PAVIMENTOS) Y EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD (CONSORCIO CACISA &amp; EUROESTUDIOS).....</i>	39
D. <i>SOBRE EL RESULTADO DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL IRI EN SECCIONES DE BASE ESTABILIZADA DEL PROYECTO. ....</i>	52
<b>12. CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>13. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 RESUMEN DE PUNTOS DE MUESTREO REALIZADOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA CIVIL DEL LANAMMEUCR, PARA MATERIAL DE PRÉSTAMO. ....	13
TABLA 2. SECCIONES DE LA CAPA DE BASE ESTABILIZADA DEL PROYECTO DONDE SE MIDIÓ EL PERFIL LONGITUDINAL. INFORME I-0323-13 .....	14
TABLA 3. TIPOS DE AGRIETAMIENTO ASOCIADOS A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS. ....	20
TABLA 4. RESULTADOS DE ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA, PLASTICIDAD Y CBR PARA LAS 4 MUESTRAS DEL MATERIAL COLOCADO COMO PRÉSTAMO EN EL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, LANAMMEUCR .....	25
TABLA 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE DE TRABAJO FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADO PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR PROVENIENTES DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO .....	26
TABLA 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADO PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO. ....	29
TABLA 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADO PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD PARA EL MATERIAL DE PRÉSTAMO. ....	30
TABLA 8. RESULTADOS DE ENSAYOS PARA 6 MUESTRAS DEL MATERIAL COLOCADO COMO SUBBASE EN EL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, LANAMMEUCR. ....	32
TABLA 9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR DEL MATERIAL DE SUBBASE.....	33

TABLA 10. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADO PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD PARA EL MATERIAL DE SUBBASE.....	37
TABLA 11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADO PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD PARA EL MATERIAL DE SUBBASE.....	38
TABLA 12. RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LAS 5 MUESTRAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA BASE ESTABILIZADA BE-35 EN EL PROYECTO CAÑAS-LIBERIA, DATOS DEL LANAMMEUCR. ....	40
TABLA 13. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD PARA EL MATERIAL DE SUBBASE.....	42
TABLA 14. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS Y FACTOR DE PAGO EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD PARA LAS MUESTRAS DE BASE ESTABILIZADA ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD. ....	47
<b>TABLA 15.</b> ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS Y FACTOR DE PAGO EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD PARA LAS MUESTRAS DE BASE ESTABILIZADA ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD. ....	51
TABLA 16. DATOS DE IRI CARACTERÍSTICO EN LA CAPA DE BASE ESTABILIZADA DE SECCIONES DEL PROYECTO. ....	53

## GLOSARIO TÉCNICO

**AASHTO:** Normas de ensayo publicadas por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte

**ASTM:** Normas de ensayo publicadas por la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales

**CR-77:** Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes publicado en el año 1978.

**CR-2010:** Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes publicado en el año 2010.

**Ingeniero de Proyecto:** funcionario encargado de la Administración, responsable de Inspeccionar la ejecución de los trabajos de conservación vial.

**IP:** Índice Plástico

**Autocontrol de calidad:** Organismo de ensayo contratado, quien realiza la gestión de calidad y ensayos a los materiales por parte del Contratista ejecutor de los trabajos.

**Verificación de calidad:** conjunto de actividades realizadas por un Organismo de Ensayo, para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de los materiales y productos,

de conformidad con los términos contractuales pactados con un Contratista ejecutor de obras.

**CBR:** El valor de CBR es una medida de la capacidad de soporte de suelos y agregados (resistencia al esfuerzo cortante), bajo condiciones de densidad alcanzada mediante niveles de compactación controlados y una humedad específica (humedad óptima), expresado como un porcentaje, en donde valores menores a 8% reflejan un suelo de mala capacidad y valores mayores de 20% se consiguen para suelos con excelente capacidad de soporte .

**BE-25:** La base estabilizada BE-25 consiste en estabilizar un material granular (que se diferencia del material de base) con cemento hidráulico con el fin de alcanzar una resistencia a la compresión promedio de 30 kg/cm<sup>2</sup> cuando se falla a los 7 días.

**BE-35:** La base estabilizada BE-35 consiste en estabilizar un material granular (que se diferencia del material de base) con cemento hidráulico con el fin de alcanzar una resistencia a la compresión promedio de 40 kg/cm<sup>2</sup> (es importante recalcar que este dato se refiere a una resistencia promedio, no a una resistencia mínima) cuando se falla a los 7 días.

**LL:** Límite Líquido

**LP:** Límite Plástico

**Variabilidad:** Diferencias en el comportamiento de todo fenómeno observable y medible que se repite bajo iguales condiciones, debidas a cambios en factores no controlables, que influyen sobre él. Este comportamiento es imperceptible, ya que es inherente a cada fenómeno o proceso. La variabilidad puede ser pequeña, como en el caso de procesos industriales, ó puede ser grande, como en el caso de fenómenos en que está involucrado el comportamiento humano, como los fenómenos psicológicos, sociológicos y económicos. La variabilidad existente en los fenómenos se puede reducir, se puede explicar parcialmente, pero nunca se puede eliminar.

**NP:** Material granular que no presenta plasticidad (No plástico)

**NL:** No Líquido

## INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.

### ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL MATERIAL PARA PRÉSTAMO, SUBBASE Y BASE ESTABILIZADA 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: ENERO A MARZO DEL 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 y base estabilizada, y observados durante las diferentes visitas realizadas por el equipo de Auditoría Técnica al sitio. Adicionalmente se realizaron mediciones para calcular el índice de regularidad internacional (IRI) en secciones de la capa de base estabilizada colocada en el proyecto, esto con el propósito de conocer la regularidad de la superficie de la capa de base estabilizada. Cabe destacar que la medición de dicho parámetro se efectuó con la intención de conocer la regularidad de la superficie resultante y no con el fin de evaluarlo, ya que este parámetro no cuenta con un criterio de valoración establecido de IRI para la capa de Base Estabilizada en el presente proyecto.

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 y base estabilizada en el proyecto, en miras de la recepción definitiva del mismo. Además de brindar información sobre la regularidad superficial (IRI) en secciones de la capa de base estabilizada.

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 y base estabilizada.

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.

Se realizaron visitas de campo los días 7 y 8, 14 y 15, 21 y 22 y 28 de febrero con el propósito de observar el avance del proyecto, la aplicación de las buenas prácticas constructivas y realizar los muestreos al material de préstamo, subbase y base estabilizada. Los registros fotográficos que se muestran corresponden a situaciones puntuales que se presentan en el proyecto. La evidencia recopilada, se efectuó durante la revisión contractual y las visitas efectuadas al proyecto.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y UBICACIÓN

El proyecto fue adjudicado el 08 de noviembre del 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.



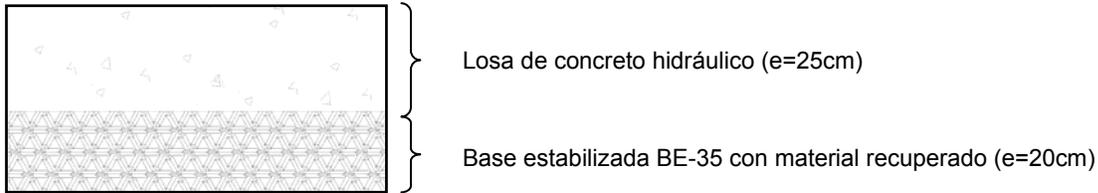
**Figura 1.** Ubicación del proyecto sobre la Ruta Nacional N°1, sección: Cañas-Liberia

A manera de antecedente es importante mencionar que la Administración planteó la posibilidad de que el oferente cotizara para 2 (dos) alternativas de pavimento: Semirígido (superficie de ruedo con carpeta de concreto asfáltico) o Rígido (superficie de ruedo con losas de hormigón de concreto hidráulico), por tanto, cada oferente podía presentar de acuerdo con sus intereses particulares oferta para una o para ambas alternativas de pavimento.

La estructura contratada fue la de pavimento rígido y el diseño que se colocará en el proyecto es el siguiente:

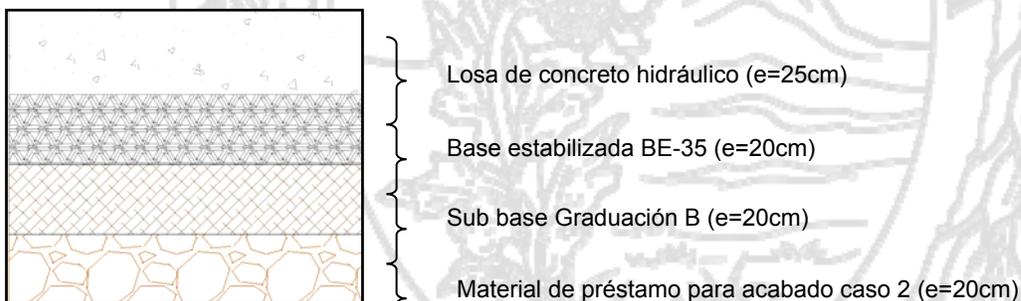
#### **Estructura de pavimento para la vía existente:**

- Recuperar un espesor promedio de 20 cm de la estructura de pavimento existente, incorporarle cemento, homogenizar y compactar para obtener una base mejorada BE-35.
- Sobre esta superficie de base mejorada con la resistencia mínima para una BE-35, construir una losa de concreto hidráulico de 25 cm de espesor.



### Estructura de pavimento para la ampliación:

- Realizar las excavaciones, limpiezas y obras necesarias.
- Sobre la subrasante conformada y compactada, colocar un espesor de 20 cm de material de préstamo seleccionado para acabado caso 2, con un CBR mayor o igual a 10, compactados al 95% de la densidad máxima establecida en la prueba AASHTO T-99 para materiales no granulares, en caso de que el material sea granular, se deberá compactar al menos hasta obtener el 95% de la densidad máxima establecida en la prueba AASHTO T-180
- Sobre el material de préstamo compactado se colocará un espesor de 20 cm de sub base graduación B, compactados al 95% de la densidad máxima establecida en la prueba AASHTO T-180.
- Sobre la sub base compactada se construirá una capa de 20 cm de base estabilizada BE-35, de acuerdo con las características definidas en las especificaciones especiales del contrato.
- Sobre esta superficie de base estabilizada construir una losa de concreto de 25 cm de espesor.



Los trabajos deberán ejecutarse con el adecuado control y manejo de tráfico para garantizar la fluida circulación vehicular en al menos dos carriles durante la totalidad de la ejecución de las obras.

Durante la etapa de construcción del proyecto podrá haber otros contratistas, en la construcción de Puentes y Pasos a Desnivel. Dado lo anterior 100 metros antes y después de cada puente, no se efectuarán actividades constructivas correspondientes a la estructura del pavimento.

Igualmente en los pasos a desnivel (Cañas-Bagaces-Liberia), no habrá intervención entre las siguientes estaciones:

- Para el paso a desnivel de Cañas desde la estación 167+00 hasta la estación 168+200
- Para el paso a desnivel de Bagaces desde la estación 188+980 hasta la estación 189+900
- Para el paso a desnivel de Liberia desde la estación 214+600 hasta la estación 215+800

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 dió el 14 de mayo del 2012.

#### 4. ANTECEDENTES

A manera de antecedente es importante mencionar que en el período julio a septiembre del 2012, con la colaboración de los laboratorios del LanammeUCR, se realizaron los muestreos y ensayos solamente al material de préstamo del proyecto, estos muestreos se realizaron en los tajos (Tajo Pijije y Tajo Salitral) donde se estaba extrayendo el material al momento de realizar la auditoría. Posteriormente con estos resultados y la información del control y verificación de la calidad se emitió el informe de Auditoría Técnica LM-PI-AT-130-2012 del 08 de febrero del 2012 y denominado " *Análisis de la calidad del material de préstamo y evaluación del control de tránsito en obra del proyecto "ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, Sección Cañas-Liberia."*, LPI No. 2011LI-000004-ODI00".

Se emitió el siguiente oficio LM-IC-D-0553-2013 del 13 de mayo del 2013, en el que oportunamente y con el propósito de contribuir al mejoramiento continuo de la gestión de la Administración, se informó sobre los valores del índice de regularidad internacional (IRI), medidos en diversas secciones de la Base Estabilizada construida.

#### 5. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

En el período de muestreo de enero a marzo del 2013, contando con la colaboración de los laboratorios del LanammeUCR se realizaron los muestreos y ensayos al material de préstamo, subbase y base estabilizada del proyecto de ampliación y rehabilitación sobre la Ruta Nacional N° 1, sección: Cañas-Liberia. Los muestreos de los materiales se realizaron en campo (muestreo de material colocado en el proyecto).

Cabe recalcar que todos los muestreos se realizaron con participación del personal del laboratorio de control de calidad "L.G.C. Ingeniería en Pavimentos" y del laboratorio de verificación de calidad "Cacisa & Euroestudios".

**Tabla 1** Resumen de puntos de muestreo realizados por el Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR, para material de préstamo.

N° Informe	Fecha recepción de la muestra	Estacionamiento	N° Muestra	Material
I-0077-13	24/01/2013	177+565 LD	M-0106-13	Préstamo
I-0194-13	08/02/2013	175+340	M-0241-13	
I-0232-13				
I-0280-13	21/02/2013	177+680	M-0377-13	
I-0394-13	19/03/2013	180+610	M-0625-13	
I-0077-13	24/01/2013	187+080 C-L	M-0105-13	Subbase Graduación B
I-0098-13				
I-0246-13				
I-0154-13				
I-0158-13	08/02/2013	197+250 C-L	M-0239-13	
		187+493 C-L	M-0240-13	
I-0280-13	21/02/2013	183+350	M-0375-13	
		170+830	M-0376-13	
I-0394-13	19/03/2013	180+610	M-0625-13	
I-0073-13	23/01/2013	208+120	M-0100-13	
			M-0101-13	
			M-0102-13	
I-0149-13	08/02/2013	202+030	M-0237-13	
I-315-13	06/03/2013	199+820	M-0461-13	
			M-0462-13	

Adicional a los muestreos de materiales el día 28 de febrero del 2013 se realizó la medición del perfil longitudinal, procedimiento de ensayo según normas ASTM E 1170 y ASTM E 950 sobre secciones ya construidas de base estabilizada en el proyecto. Estos datos se utilizaron para calcular el Índice de Regularidad Internacional (IRI) en dichos segmentos de la capa de base estabilizada con el objetivo de conocer la regularidad de la misma.

**Tabla 2.** Secciones de la capa de base estabilizada del proyecto donde se midió el perfil longitudinal. Informe I-0323-13

Estacionamiento		Lado	Longitud del Tramo (m)
196+500	198+870	Derecho	2430
198+870	196+500	Derecho	2400
199+430	200+050	Derecho	556
200+050	199+430	Derecho	575
200+310	200+665	Derecho	310
200+665	200+310	Derecho	335
201+780	202+410	Derecho	500
203+640	204+100	Izquierdo	390
204+100	203+645	Derecho	365
205+030	205+670	Derecho	550
206+600	208+340	Derecho	1145
208+340	206+600	Derecho	1165
208+540	211+100	Derecho	3410
212+074	208+540	Derecho	3415
211+300	212+000	Izquierda	590
212+000	211+300	Izquierda	610

Se emitió el siguiente oficio en el que oportunamente y con el propósito de contribuir al mejoramiento continuo de la gestión de la Administración, se informó sobre los valores del índice de regularidad internacional (IRI). (Ver Anexo 3)

- LM-IC-D-0553-2013 del 13 de mayo del 2013. En este oficio se presentan los valores calculados de IRI en m/km para los estacionamientos indicados en la tabla anterior.

## 6. ALCANCE DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

El alcance de esta Auditoría Técnica se centró en el muestreo, ensayo y posterior análisis de los resultados de las muestras del material de préstamo, subbase y base estabilizada del proyecto de ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, sección: Cañas-Liberia en el periodo de muestreo que comprende los meses de enero a marzo del 2013. Adicionalmente, se abarca el tema del cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en secciones de la capa de base estabilizada.

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.

## 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. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng. (Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica)
- 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. MARCO TEORICO

En la siguiente sección se explican conceptos y criterios importantes para el desarrollo y comprensión del presente informe de Auditoría Técnica.

### 9.1 VALORACIÓN ESTADÍSTICA DE LA CALIDAD DEL TRABAJO REALIZADO.

La aplicación de herramientas estadísticas para el análisis de los ensayos de calidad es una actividad fundamental en cualquier proceso productivo, para predecir el nivel de calidad del producto, corregir y prevenir desviaciones y mejorar la eficiencia y eficacia del proceso de producción. Las herramientas estadísticas de control de procesos evalúan no sólo los resultados fuera de los límites de especificación, sino también la variabilidad del proceso, la cual puede aumentar la probabilidad de que la totalidad del producto no cumpla con el nivel de calidad establecido por las especificaciones como resultado de la variabilidad inherente del proceso.

Ya que la valoración estadística de la calidad del material de préstamo y subbase en el proyecto en estudio no es un requisito contractual, pero con el propósito de aportar elementos que permitan la interpretación de los resultados de los ensayos y acrecentar la calidad de los productos que se utilizan en las labores de construcción de infraestructura vial, la Auditoría Técnica realiza una evaluación estadística de los resultados de los materiales obtenidos de las muestras tomadas y ensayadas por el personal técnico del LanammeUCR. Para ello se aplica el procedimiento establecido en la sección VI: Requisitos de Obra, apartado 29. "Pago en función de obra ejecutada en función de la calidad", de la Licitación Pública LPI No. 2011LI-000004-0DI00 (proyecto Cañas-Liberia), similar a la sección 107.05 "Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor de trabajo)" del "Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010", con la finalidad de evidenciar la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en el control de procesos de producción. Cabe destacar que es importante introducir este tipo de análisis ya que permiten a la Administración velar por la buena inversión pública.

Los índices de calidad ( $Q_s$  y  $Q_i$ ) son estimadores del sesgo de los datos analizados con respecto al valor meta y los límites permitidos por el rango de especificación; son indicadores de la variabilidad existente en el conjunto de datos analizados.

Los índices de calidad se calculan para cada uno de los ensayos que se van a analizar, luego se obtiene para cada uno el porcentaje de datos fuera de los límites de especificación (PT), aplicando la Tabla B del Cartel de Licitación. El porcentaje fuera de los límites de especificación es una estimación del porcentaje de la totalidad del producto que podría encontrarse fuera de los rangos de especificación para las muestras o periodo analizado (lote).

Como parte del procedimiento se utilizarán las siguientes abreviaturas en el presente informe:

LSPE\* o Ls: Límite superior

LIPE\* o Li: Límite inferior

Prom: Promedio

Desv: Desviación estándar

ICS\* o QS: Índice de calidad superior

ICI\* o QI: Índice de calidad inferior

PIS<sub>i</sub>\* o PT: Porcentaje de datos fuera de los límites de especificación

PDL: Porcentaje de datos dentro de los límites de especificación

Es importante recalcar que en el análisis realizado por la Unidad de Auditoría Técnica no se desarrolló el análisis de pago en función de la calidad del material de préstamo ni de subbase debido a que según el Cartel de Licitación del proyecto (página 100 y 131) este procedimiento estadístico no se aplica, excepto en el pago del material de base estabilizada BE-35, para el cual esta auditoría técnica si realiza el análisis correspondiente.

*... Pago en función de la calidad*

*Se aplicará para la Base Estabilizada, Pavimento de hormigón asfáltico en caliente y/o Pavimento de Concreto Hidráulico...*

## 9.2 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ESTABILIZACIÓN O MEJORAMIENTO DE BASES.

En junio del 2012, el LanammeUCR emite el informe LM-PI-PU-0001-12 “Experiencia costarricense en diseño, aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas con cemento,” el cual es un artículo científico donde se definen conceptos relacionados con la estabilización o mejoramiento del suelo.

A continuación se detallan algunos de estos conceptos que a criterio del equipo auditor son importantes para el desarrollo del informe de auditoría.

- **Estabilización de suelos:** Tratamiento que se aplica a los suelos, a los materiales granulares, adicionándoles un ligante que puede ser o no bituminoso (productos químicos, aceites, asfalto, emulsión asfáltica, cal, cemento) para mejorar sus características mecánicas, especialmente la capacidad portante, resistencia a los agentes atmosféricos, estabilidad volumétrica, etc.
- **Estabilización con cemento:** Se emplea para cambiar alguna de las características físicas del material tratado (ej. el índice de plasticidad) o bien para aumentar la resistencia del suelo y así mismo incrementar las cargas de tránsito y obtener mezclas con un mejor comportamiento ante la erosión y los cambios abruptos de temperatura. El tratamiento se puede realizar en planta o in situ y el proceso implica la adición del estabilizante, la mezcla con el suelo o el material que se quiere mejorar y el proceso de compactación.

\* Acorde con el CR-2010, sección 107.05 Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago

- **Suelo–Cemento:** El suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido. Se le usa principalmente como base en los pavimentos de carreteras, calles y aeropuertos.<sup>2</sup>

Algunos estudios indican que el verdadero nombre de la técnica debe ser “suelo tratado con cemento” ya que el proceso no implica una gran rigidez en el resultado final del tratamiento.

- **Suelo modificado con cemento:** Mezcla, dura o semidura, íntima de suelo pulverizado, agua y pequeñas cantidades de cemento que se compacta. Por lo tanto se distingue del suelo-cemento compactado exclusivamente en la menor cantidad de cemento que se le adiciona. La cantidad de cemento en peso varía entre 1 y 4%. Se le utiliza especialmente cuando se requiere:
  - Obtener mayor resistencia del suelo, aunque no muy alta
  - Compactar el terreno en condiciones más favorables
  - Hacer más impermeables determinados suelos”
- **Base estabilizada:** Técnica que corrige deficiencias de un material que, usado sin cemento, no cumple especificaciones, por su dureza o que pueden experimentar problemas con índice plástico y límite líquido, los cuales son controlados por el cemento. Deben cumplir con las especificaciones del CR-77, sección 308 *Bases estabilizadas con cemento portland*.
- **Base mejorada:** Corrige deficiencias de agregados que tienen condiciones granulométricas que pueden experimentar problemas con índice plástico y límite líquido, los cuales son controlados por el cemento. Se agregan bajos porcentajes de cemento (por ejemplo menos del 3%).
- **Base reforzada:** Procura que un material de agregados triturados para base, que cumplen con su granulometría y rigidez, se refuerce con cemento para mejorar el módulo y en consecuencia reducir el espesor de la capa de ruedo.
- **Base recuperada:** Es el tratamiento de un espesor de material compuesto por la capa de rodadura y un porcentaje de la base existente en un pavimento que, una vez escarificados y pulverizados se les adiciona un ligante (cemento o asfalto de algún tipo) para reconstituir el material resultante de manera que cumpla nuevamente con la función de una base.

Cabe mencionar que desde el punto de vista del desempeño del pavimento es muy importante la calidad de la base, por lo tanto no se debe construir esta capa si no se define de previo un marco de especificaciones que se fundamente en estudios técnicos que garanticen cuál será el desempeño a largo plazo de los materiales, y cuáles son sus parámetros físico-mecánicos, condición que sí cumplen por ejemplo las bases granulares o estabilizadas. En consecuencia tampoco es posible hacer el análisis estructural que se requiere para diseñar la intervención a realizar; lo cual es absolutamente necesario para elegir la mejor alternativa de proyecto y con ello garantizar al país el uso eficiente de los recursos. Este es un compromiso absolutamente inherente a la Ingeniería.

<sup>2</sup> Portland Cement Association

### 9.3 ASPECTOS RELACIONADOS CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA BE-35

A manera de antecedente cabe recalcar que el criterio del LanammeUCR en cuanto a lo descrito en la sección 308 “Base Estabilizada con cemento Portland” del CR-77, 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.

En este oficio se expresa que de acuerdo con lo establecido en la sección del CR-77 antes mencionada, se establece que la totalidad de los resultados de ensayo de resistencia a la compresión de bases estabilizadas BE-35 ensayadas deben mostrar un valor promedio de  $40\text{kg/cm}^2$ , sin que se obtenga valores menores a  $30\text{kg/cm}^2$ . Acá cabe destacar una de las principales confusiones de esta norma ya que no se indica explícitamente un valor máximo de límite superior para la especificación, por lo que el objetivo de dicho oficio es aclarar la posición del LanammeUCR en cuanto a la interpretación de las especificaciones dadas en el Cartel de Licitación.

A saber, pese a no expresarse claramente en la especificación un límite superior, con herramientas estadísticas 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.

Por ejemplo, utilizando la metodología de “Evaluación Estadística del Trabajo, sección 107.05 del CR-2010 o en su defecto el Anexo A “Especificaciones Especiales para el pago en función de la Calidad” del Cartel de Licitación de este proyecto (metodología similares), se puede calcular la desviación estándar máxima aceptable para una muestra dada, que de manera simultánea cumpla con los valores de resistencia mínima y resistencia promedio ( $30$  y  $40\text{kg/cm}^2$  respectivamente).

Este tipo de metodología se utilizó en el análisis de los resultados obtenidos en el presente informe de auditoría (LM-AT-047B-13), donde se obtuvo un valor máximo de resistencia a la compresión para bases estabilizadas BE-35 de  $50\text{kg/cm}^2$ , y a partir de este valor calculado se definió el cumplimiento de la especificación del Cartel de Licitación del proyecto en estudio.

Cabe destacar que el análisis propuesto parte del supuesto de que los datos se comportarán de acuerdo con una distribución normal, lo que permite inferir un límite máximo aceptable, que aunque no esté especificado de forma explícita, es conocido que debe controlarse debido a los problemas de fisuración por contracción que pueden tener las bases estabilizadas con cemento.

No es recomendable dar a la capa de base estabilizada un exceso de resistencia, debido a que daría una gran rigidez, volviéndola muy susceptible al agrietamiento.

En función de la resistencia a compresión a 7 días se puede estimar cualitativamente, el agrietamiento de las bases estabilizadas con cemento según el siguiente criterio:

**Tabla 3.** Tipos de agrietamiento asociados a la resistencia a la compresión a los 7 días<sup>3</sup>.

Resistencia a la compresión, 7 días	Tipo de Agrietamiento
$Rc\ 7 \leq 20\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento muy leve o imperceptible
$20\ \text{kg/cm}^2 \leq Rc\ 7 \leq 30\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento de muy leve a leve
$30\ \text{kg/cm}^2 \leq Rc\ 7 \leq 40\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento de leve a moderado
$40\ \text{kg/cm}^2 \leq Rc\ 7 \leq 55\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento de moderado a alto
$Rc\ 7 \geq 60\ \text{kg/cm}^2$	Agrietamiento de alto a severo

Rc 7: Resistencia a la compresión a los 7 días:

El agrietamiento de la base estabilizada, especialmente a un nivel igual o inferior al aquí señalado como moderado, no afecta negativamente, ni la vida útil ni el desempeño a largo plazo de la estructura del pavimento, siempre y cuando el diseño en laboratorio así como el proceso constructivo y de control de calidad de la base se haya ejecutado correctamente. Desde luego se supone que el diseño estructural y el mantenimiento del pavimento se realizan de forma adecuada.

Es importante, durante la formulación del diseño, realizar un adecuado 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 el mínimo cemento posible, para así maximizar el uso de los recursos.

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).

#### 9.4 BASES EN PAVIMENTOS DE CONCRETO

Los primeros pavimentos de hormigón fueron construidos directamente sobre el subsuelo (subrasante) sin el uso de una base o subbase. Cuando se produjo el aumento en el peso y el volumen de tráfico vehicular, el bombeo comenzó a producirse, y el uso de una base granular se hizo muy popular. Cuando los pavimentos están sujetos a una gran cantidad de carga pesada y con la presencia de agua libre en la parte superior de la capa de base, incluso de una base granular, el material puede ser erosionado por la acción del agua. Para pavimentos con mucho tráfico, el uso de la capa de base estabilizada con cemento se ha convertido en una práctica común.

<sup>3</sup> Publicación técnica "Experiencia costarricense en diseño, aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas con cemento". Volumen 1, Número 1, LanammeUCR, Marzo 2012

Aunque el uso de una capa de base puede reducir la tensión crítica en la losa de concreto (superficie de rueda), no es económica la construcción de esta capa de base con este (reducir la tensión del hormigón), debido a que la resistencia del hormigón es mucho mayor que la de la capa de aumentando ligeramente el espesor del hormigón.

Acorde con el libro *Análisis y Diseño de Pavimentos (Pavement Analysis and Design 2nd Edition Yang H Huang)*, específicamente la sección 1.2.2 " Pavimentos Rígidos", se mencionan las razones por las cuales se utiliza una capa de base cuando se construyen pavimentos rígidos, las cuales son:

- Control de bombeo
- Control de acción congelante<sup>4</sup>
- Capa de drenaje
- Control de contracción e hinchamiento de subrasante
- Plataforma de construcción

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de ellas:

- **Control de bombeo:** Bombeo se define como la expulsión de agua y suelo a través de juntas y grietas a lo largo de los bordes del pavimento, y es causado por los movimientos de la losa sometida a cargas por ejes pesados. La secuencia de acontecimientos que conducen al bombeo incluye la formación de espacio vacío bajo el pavimento causado por la variación de temperatura que produce la deformación plástica de la losa (alabeo) y por la entrada de suelo (subrasante) y de agua, la expulsión de esta agua con suelo (barro), y la ampliación del espacio vacío, finalmente producen la falla y agrietamiento de la losa en sentido del tráfico. El bombeo ocurre bajo esta losa cuando los movimientos finales de la losa crean un vacío y expulsa el material fino por debajo de la losa principal, las medidas correctivas para el bombeo incluyen sellado de juntas.

Tres factores deben existir simultáneamente para producir bombeo:

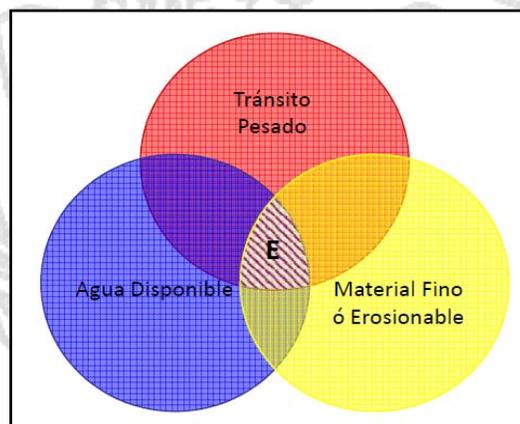
1. El material debajo de la losa de concreto debe estar saturado con agua libre. Si el material está bien drenado, no se producirá ningún bombeo. Por lo tanto, un buen drenaje es una de las maneras más eficaces para prevenir el bombeo.
2. Debe haber paso frecuente de cargas de ejes pesados. El bombeo se realizará sólo bajo cargas pesadas que produzcan desniveles en la losa. Incluso bajo cargas pesadas, el bombeo se producirá sólo después de un gran número de repeticiones de carga.
3. El material debajo de la losa de hormigón debe ser erosionable. La erosionabilidad del material depende de las fuerzas hidrodinámicas creadas por la acción dinámica de la carga de las ruedas móviles. Todos los materiales granulares no tratados, e incluso algunos materiales débilmente cementados, son erosionables debido a la presión hidrodinámica, por lo que se dará el transporte de las partículas finas del

<sup>4</sup> No aplica en el caso de Costa Rica

suelo a la superficie. Estas partículas finas irán en suspensión y provocarán el bombeo.

- **Capa drenaje:** Cuando el nivel freático es alto y está cerca de la superficie del suelo, una capa de base puede ubicar el pavimento a una elevación deseable por encima de la superficie del nivel freático. Cuando el agua se filtra por las grietas y juntas del pavimento, una capa de base con graduación abierta genera una superficie drenante que evacua el agua hacia los costados del pavimento. Cedergren (1988) recomienda el uso de una capa de base con graduación abierta debajo de todos los pavimentos importantes para proporcionar un sistema de drenaje interno capaz de eliminar rápidamente toda el agua que entre.
- **Control de contracción e hinchamiento de subrasante:** Cuando los cambios de humedad causan en la subrasante el hinchamiento y contracción, la capa de base puede servir como superficie de carga para reducir la cantidad de contracción e hinchamiento. Una capa de base con graduación densa o estabilizada puede servir como capa de impermeabilización y una capa de base con graduación abierta puede servir como capa de drenaje. Por lo tanto la reducción de agua que entra en la subrasante reduce aún más la posibilidad de hinchamiento ó contracción.
- **Plataforma de construcción:** una capa de base se puede utilizar como una plataforma de trabajo con equipo pesado de construcción. En condiciones de mal tiempo, una capa de base puede mantener la superficie limpia y seca para facilitar el trabajo de construcción.

Como puede verse en el razonamiento anterior, siempre hay una necesidad de construir una capa de base. En consecuencia, las capas de bases se han utilizado ampliamente en pavimentos rígidos



Cabe recalcar que cuando en un pavimento determinado se prevea la eventual coexistencia de los factores indicados anteriormente en la figura, el empleo de una base no erosionable es de carácter obligatorio.

## 10. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN VERSIÓN PRELIMINAR LM-PI-AT-047B-13.

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-069-13 del 22 de julio del 2013 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-047B-13 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.

Posterior al envío del informe preliminar, se le brinda audiencia a la parte auditada para que se refiera al informe preliminar, el día 30 de julio del 2013 a las 9:30am en las instalaciones del LanammeUCR en donde se realizó la presentación del informe LM-PI-AT-047B-13 en su versión preliminar y en la que participaron los ingenieros Ing. Kenneth Solano Carmona, Director de la Unidad Ejecutora del PIV-I, Lic. Reynaldo Vargas Soto e Ing. Melissa Salas Pérez de la Auditoría Interna de CONAVI y el Ing. Vincent Blackmore Rodríguez de la Dirección Ejecutiva de CONAVI. Así como los auditores encargados del informe y la coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica-PITRA LanammeUCR, Ing. Jenny Chaverri Jiménez.

El día 05 de agosto del 2013 se recibe el oficio 2013-276-SCL emitido por el Ing. Enrique Sánchez Marín, Gerente de Carreteras de la Unidad Ejecutora del PIV-I en el cual se describen comentarios sobre el informe LM-AT-047B-13. Por lo tanto, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, el cual una vez analizado el documento en mención y considerado los aspectos de relevancia, se procede a emitir el presente informe LM-PI-AT-047-13 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley. La emisión del informe final se realiza en de agosto de 2013.

## 11. OBSERVACIONES 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.

## 11.1 RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

### **A. SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL GRANULAR UTILIZADO COMO CAPA DE PRÉSTAMO DE ACUERDO A LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR, LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD (L.G.C INGENIERÍA EN PAVIMENTOS) Y EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD (CONSORCIO CACISA & EUROESTUDIOS)**

En el proyecto de ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, sección: Cañas-Liberia, para efectos de evaluar la calidad del agregado utilizado para préstamo, la Unidad de Auditoría Técnica solicitó la realización de muestreos y ensayos de estos materiales a los diferentes laboratorios del LanammeUCR.

Es importante reiterar 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, por lo que el presente informe no es un dictamen final de la calidad de todo el proyecto sobre la Ruta Nacional No 1, sección: Cañas-Liberia. Cabe destacar que estos si responden a muestreos aleatorios y no sesgados. La auditoría técnica presenta una evaluación de datos puntuales que sirven de insumo para que la Administración realice una revisión de los resultados obtenidos por el LanammeUCR, en contraste con los controles propios, tanto de verificación de calidad, así como los de calidad por parte del contratista, controles que deben existir en todo proyecto de obra vial.

Es competencia de la Administración en la figura del Ingeniero de Proyecto (Unidad Ejecutora ó Verificación de la calidad) responsable, determinar la aceptación o rechazo del material, así como su respectivo pago.

La Auditoría Técnica es un mecanismo externo e independiente cuyo fin es determinar si la inversión se está realizando eficientemente, así como un mecanismo para la propia Administración de obtener insumos de mejora en los proyectos viales.

**Observación 1: Los resultados del material granular de préstamo para las 4 muestras ensayadas por el LanammeUCR no se encuentran dentro de los rangos de la especificación indicada en el Cartel de Licitación del proyecto.**

De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados al material granular de préstamo muestreado y ensayado en el proyecto por los laboratorios del LanammeUCR, en el período de enero a marzo del 2013, presentados en la Tabla 4 se observa que los valores obtenidos para plasticidad y CBR si cumplen con los rangos de especificación establecidos en el Cartel de Licitación del proyecto en estudio, sin embargo para el caso del requerimiento granulométrico, el material granular utilizado como préstamo, no cumple con el requerimiento establecido, ya que en 3 de los 4 valores reportados el porcentaje de material pasando la malla No 3 es inferior al 100% especificado.

**Tabla 4.** Resultados de ensayos de granulometría, plasticidad y CBR para las 4 muestras del material colocado como préstamo en el proyecto Cañas-Liberia, LanammeUCR

Información General Material de préstamo				Granulometría	Plasticidad		CBR	
Informe	Muestra	Est.	Fecha	3"	LL	IP	0,1"	0,2"
Especificación				100%	≥ 30%	≥ 7%	> 10%*	
I-0077-13	M 0106-13	177+565	24/01/2013	92,0	NP	NP	45,3	47,7
I-0194-13	M 0241-13 †	175+340	08/02/2013	90,6	NP	NP	-	-
I-0232-13				-	-	-	10,1	14,5
I-0280-13	M 0377-13	177+680	21/02/2013	96,3	NP	NP	-	-
I-0394-13	M 0625-13	180+610	19/03/2013	100,0	-	-	-	-

\*10% al 95 % mínimo del AASHTO T-99

† La muestra M-0241-13 se analiza en dos informes de laboratorio, en el informe I-0194-13 se reportan los resultados de los ensayos de granulometría y límites de consistencia y en el informe I-0232 el ensayo de CBR

Debido a la importancia que tiene la aplicación de las herramientas estadísticas en el control de procesos de producción, para el análisis de estos datos se aplicó la sección 107.05 de CR-2010, que sirve como herramienta para además de identificar el cumplimiento, evaluar la variabilidad de los datos y por ende del proceso productivo.

El equipo de Auditoría Técnica realizó un análisis estadístico con los datos de las muestras ensayadas por los laboratorios del LanammeUCR ,donde se obtiene un porcentaje total estimado de valores fuera de los rangos de trabajo (PFL) ó porcentaje de incumplimiento para los parámetros en estudio expresado en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Análisis estadístico del porcentaje de trabajo fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el LanammeUCR provenientes del material de préstamo

Descripción	Especificación	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
<b>Pasando la malla de 76,2 mm</b>	100%	85,7	50,0
<b>Límite líquido (LL)</b>	Máximo 30 %	0*	50,0
<b>Índice plástico (IP)</b>	Máximo 7 %	0*	50,0
<b>Valor de soporte CBR</b>	mayor de 10 %	25,8	50,0

Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido: Nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente, depende del número de muestras evaluadas.

\* El análisis estadístico de este parámetro se llevó a cabo solamente considerando los valores de LL e IP que registran valor numérico, no se consideraron los datos con resultado NP.

Cabe recalcar que de acuerdo con la Tabla 107-2 de la sección 107.05 del CR-2010 donde describe el análisis estadístico, menciona que no se cuenta con la suficiente cantidad de datos para realizar dicho análisis, ya que se requieren al menos 5 datos, pero si para aplicar una valoración estadística para informar a la Administración sobre los resultados obtenidos por esta Auditoría Técnica, y la variabilidad del proceso.

En las siguientes fotografías se ilustra el proceso del muestreo de material de préstamo que se llevó a cabo el día 08 de febrero del 2013 en el estacionamiento 175+340, es importante destacar de estas fotografías dos elementos importantes.



**Fotografías 1 y 2.** Muestreo de material de préstamo del proyecto Cañas-Liberia el día 08/02/2013 estacionamiento 175+340.

El primero de ellos está relacionado con la metodología de muestreo, ya que el material es obtenido en campo en el sitio de colocación (estacionamiento 175+340) y tal y como se observa en la Fotografía 1, el material se muestrea considerando la condición de compactación resultante de la capa en estudios.

La segunda observación está relacionada con el tamaño máximo de este material ya que tal y como se observa en la Fotografía 2, en la muestra seleccionada y escarificada en el sitio (para reflejar la condición del material tal y como se encuentra colocada en campo) se observan partículas de tamaño mayor a la malla de 76,2 mm. Es por esta razón que en la Tabla 5 se obtiene un porcentaje estimado de trabajo fuera de los límites, mayor al requerido en la especificación cartelaria. También en la Tabla 4 se observan porcentajes pasando la malla de 76,2 mm (3") menores al requerido de 100%.

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 estas sean similares a las del material en campo y que estas no deberían ser variadas a lo largo del ensayo, sea exponiéndolo al efecto del agua (24 horas) o pulverizar el material con energía, cambiando las propiedades del mismo y perdiendo la representatividad del material que se colocó en campo.

Es importante indicar que el número de muestras es reducido en comparación con la información de verificación y control de calidad con la que puede contar el CONAVI, por lo que le corresponde al Ingeniero de Proyecto<sup>5</sup> realizar una revisión completa de toda la información disponible de ensayos de calidad (control y verificación) realizados al material de préstamo, para determinar la aceptación y respectivo pago de este material así como determinar si el procedimiento de ensayo utilizado se ajusta a la normativa establecida para este tipo de material y así, la confirmación de los resultados presentados en este informe de Auditoría Técnica.

**Observación 2: Los resultados de material granular de préstamo reportados por el laboratorio de Verificación de Calidad (Consortio CACISA & Euroestudios) y por el laboratorio de Control Calidad del contratista (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos) se encuentran dentro de los rangos de la especificación indicada en el Cartel de Licitación del proyecto.**

Para describir esta observación primero se presentan los datos del laboratorio de Verificación de Calidad (CACISA & Euroestudios), y posteriormente se presentaran los datos del laboratorio de Control de Calidad (L.G.C. Ingeniería en pavimentos) facilitados por la Administración en ambos casos.

Para desarrollar esta sección del informe se toma como base el CR-2010, y con especial atención la sección 107.05, ya que en esta sección del CR-2010 se describe de forma detallada el proceso que debe seguir tanto la Administración como el contratista para asegurar la calidad de los materiales del proyecto en pro del buen desarrollo del mismo y su desempeño en el futuro.

<sup>5</sup> En la figura de la Unidad Ejecutora

En el Cartel de Licitación Sección VI. Requisitos de obra apartado 6. Excavación de Préstamo seleccionado para acabado (caso 2) se describe que dicho material *debe satisfacer las siguientes especificaciones:*

*“El material deberá presentar una capacidad relativa de soporte mayor o igual al 10%, según ensayo AASHTO T-193 (CBR MÍNIMO DE 10%), con el material compactado mínimo al 95% del ensayo AASHTO T-99.*

*Además el material deberá satisfacer las siguientes especificaciones:*

<b>Descripción</b>	<b>Especificación</b>
<i>Pasando la malla de 76,2mm</i>	<i>100%</i>
<i>Valor de soporte CBR</i>	<i>Mayor a 10%</i>
<i>Límite líquido</i>	<i>Máximo 30%</i>
<i>Índice plástico</i>	<i>Máximo 7%</i>
<i>Grado de compactación</i>	<i>95% mínimo del AASHTO T-99</i>

*Este renglón de pago corresponde al suministro, colocación y compactación del material que satisfaga las especificaciones establecidas. Su pago será por metro cúbico (m<sup>3</sup>), medido una vez suministrado, colocado y compactado en el prisma de la obra o el sitio ordenado de colocación, de acuerdo con el ítem CR.204.05 (a) Excavación de Préstamo para Acabado Caso 2.”*

Adicionalmente en el sección 29 " Pago en función de la calidad" se menciona: ... " Se aplicará para la Base Estabilizada, Pavimento de hormigón asfáltico en caliente y/o Pavimento de Concreto Hidráulico"... razón por la cual para realizar el análisis estadístico se utiliza la sección 107.05 del CR-2010 . Cabe reiterar que el alcance del análisis estadístico realizado en este informe tiene como finalidad determinar el porcentaje de trabajo fuera de los límites de especificación (variabilidad existente en el proceso productivo), y en ningún momento se pretende determinar un valor de factor de pago.

- **Datos del laboratorio de Verificación de Calidad- Consorcio CACISA & Euroestudios**

A continuación se analizan los resultados de los ensayos del laboratorio de verificación de calidad (laboratorio de verificación Consorcio CACISA & Euroestudios) al material de préstamo del proyecto. Cabe destacar que esta información fue solicitada a la Unidad Ejecutora PIV I y entregada por parte de la Administración el día 17 de mayo del 2013 durante una visita al proyecto.

Los resultados de verificación de calidad realizados al material de préstamo por este laboratorio con los que se trabajó en este informe de auditoría técnica se encuentran tabulados en el Anexo 1, Tabla 1.1. En la Tabla 6, se puede observar que los resultados de los ensayos realizados de granulometría, plasticidad y CBR cumplen con las especificaciones técnicas establecidas en el Cartel de Licitación del proyecto en mención.

Tal y como se realizó con los datos del LanammeUCR y debido a la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en el control de procesos de producción, se aplicó para el análisis de estos datos la sección 107.05 del CR-2010.

Con los datos de los ensayos reportados por el laboratorio de Verificación de Calidad (Consortio CACISA & Euroestudios), posterior del análisis estadístico se obtiene un porcentaje total estimado fuera de los rangos de trabajo (PT) para los parámetros en estudio, tal como se observa en la siguiente tabla (Ver Tabla 6)

**Tabla 6.** Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el laboratorio de verificación de calidad del material de préstamo.

Descripción	Especificación	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
<b>Pasando la malla de 76,2 mm</b>	100%	0,0	44,025
<b>Límite líquido</b>	Máximo 30 %	0,0*	-
<b>Índice plástico</b>	Máximo 7 %	0,0*	-
<b>Valor de soporte CBR</b>	mayor de 10 %	25,189	46,438

Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido: Nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente, depende del número de muestras evaluadas.

\* El análisis de estadístico de este parámetro se llevó a cabo solamente considerando los valores de LL e IP que registran valor numérico, no se consideraron los datos con resultado NP.

Tal y como se puede observar en la Tabla 6, los resultados de ensayos realizados por el Laboratorio de Verificación y analizados en este informe de Auditoría Técnica, cumplen con las especificaciones establecidas en el Cartel de Licitación del proyecto, ello de conformidad con los resultados obtenidos por dicho laboratorio y en razón de que el porcentaje de trabajo fuera de los rangos establecidos debido a la variabilidad del proyecto y calculado con las herramientas estadísticas de la sección 107.05 del CR-2010 es menor al 44,025% establecido en dicha sección como aceptable para una muestra de 12 especímenes en el caso del análisis granulométrico (sección 107.05, Tabla 107-2) y de 46,438% para una muestra de 9 especímenes en el caso del parámetro de CBR.

En contraposición con los datos analizados por el laboratorio del LanammeUCR se puede observar que en el caso del análisis granulométrico los datos de la verificación de calidad presentan un porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación menor que el permitido.

- **Datos del laboratorio de Control de Calidad- L.G.C. Ingeniería en Pavimentos**

A continuación se analizan los resultados de los ensayos realizados por el laboratorio de control de calidad (laboratorio L.G.C. Ingeniería en Pavimentos) al material de préstamo del proyecto. Cabe destacar que esta información fue solicitada a la Unidad Ejecutora PIV I por esta Auditoría Técnica y entregada por parte de la Administración 17 de mayo del 2013 durante una visita al proyecto.

En el Anexo 2, Tabla 2.1 se presentan los resultados de control de calidad obtenidos del material de préstamo realizado por el laboratorio de control de calidad (laboratorio L.G.C. Ingeniería en Pavimentos), en este proyecto. De los datos analizados se puede determinar que los resultados de los ensayos realizados de granulometría, plasticidad y CBR cumplen con las especificaciones técnicas establecidas en el Cartel de Licitación del proyecto en mención.

Tal y como se realizó anteriormente y debido a su importancia, se aplicó para el análisis de estos datos la sección 107.05 del CR-2010, esta vez con los datos de las muestras reportados por el laboratorio de control de calidad (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos), donde se obtiene un porcentaje estimado de trabajo fuera de los límites especificados (PT) para los parámetros en estudio expresado en la Tabla 7. Dicho porcentaje refleja la variabilidad existente en el proceso productivo (desviación estándar), y no tiene como propósito establecer un valor de factor de pago.

**Tabla 7.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el laboratorio de control de calidad para el material de préstamo.

Descripción	Especificación	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
<b>Pasando la malla de 76,2 mm</b>	100%	0,0	35,039
<b>Límite líquido</b>	Máximo 30 %	0,0*	-
<b>Índice plástico</b>	Máximo 7 %	0,667*	-
<b>Valor de soporte CBR</b>	mayor de 10 %	0,613	44,747

Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido: Nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente, depende del número de muestras evaluadas.

\* El análisis estadístico de este parámetro se llevó a cabo solamente considerando los valores de LL e IP que registran valor numérico, no se consideraron los datos con resultado NP.

Tal y como se puede observar en la Tabla 7, los resultados del material analizado en este informe de Auditoría Técnica, cumplen con las especificaciones establecidas en el CR-2010, ello de acuerdo con los informes de calidad emitidos por el laboratorio de Control de Calidad, ya que el porcentaje de trabajo fuera de los rangos establecidos debido a la variabilidad del

proyecto y calculado con las herramientas estadísticas de la sección 107.05 es menor al 35,039% establecido en el CR-2010 (sección 107.05, Tabla 107-2) para de 43 resultados de ensayo en el caso de análisis granulométrico y de 44,747% en el caso del CBR para una cantidad de 11 resultados de ensayo.

En este caso, al igual que para los resultados de la verificación de calidad los porcentajes calculados fuera de los límites de especificación son menores a los permitidos por el cartel de licitación, en este caso en específico para los tamaños de muestra indicados, no hay datos fuera de los límites de especificación.

Cabe reiterar que es responsabilidad del Ingeniero de Proyecto realizar una revisión completa con toda la información disponible tanto de verificación como de control de calidad realizada al material de préstamo, para determinar la aceptación y respectivo pago de este material.

**B. SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL GRANULAR UTILIZADO COMO CAPA DE SUBBASE DE ACUERDO A LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR, LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD (L.G.C INGENIERÍA EN PAVIMENTOS) Y EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD (CONSORCIO CACISA & EUROESTUDIOS)**

**Observación 3: Los resultados del material granular de subbase para las 6 muestras ensayadas por el LanammeUCR no se encuentran dentro de los rangos de la especificación indicada en el Cartel de Licitación del proyecto.**

De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados al material granular de subbase muestreado en el proyecto por laboratorio del LanammeUCR, en el período de enero a marzo del 2013, presentados en la Tabla 8 se observa que los valores obtenidos para plasticidad, porcentaje de caras fracturadas y abrasión si cumplen con los rangos de especificación establecidos en el Cartel de Licitación del proyecto en estudio, sin embargo para el caso del requerimiento granulométrico, e índice de durabilidad el material granular utilizado como subbase se presentan algunos de los valores que no cumple con las especificaciones cartelarias.

**Tabla 8.** Resultados de ensayos para 6 muestras del material colocado como subbase en el proyecto Cañas-Liberia, LanammeUCR.

Información General		Granulometría				Plasticidad		CBR		Caras fracturadas	Índice de durabilidad		Abrasión
Muestra	Fecha	2"	1 1/2"	No 4	No 200*	LL	IP	0,1"	0,2"	Porcentaje (%)	Grueso	Fino	%
Especificación		100	97-100	40-60	4 a 12	Máx 25%	Máx 4%	Mínimo 30% *		Mínimo 50% ‡	35 mínimo	35 mín	50% máximo °
M 0105-13 †	24/01/2013	100	98,2	37,7	7,14	23,0	4,0	31,2	43,5	88,1			19,9
								34,7	45,2			97,7	
												37,6	
M 0239-13	08/02/2013	100	99,4	62,1	16,5	NP	NP	18,1	14,3		55,0	27,0	37,7
M 0240-13	08/02/2013	100	98,3	36,9	7,15	23,0	5,0	18,3	26,5		70,4	26,7	21,5
M 0375-13	21/02/2013	100	99,0	44,7	9,87	25,0	5,0	20,7	28,0		94,4		21,4
M 0376-13		100	98,0	25,0	14,4	37,0	11,0						
M 0625-13	19/03/2013	100	99,0	51,5	11,2					97,9	72,4	33,7	21,3

\* Para el análisis de la granulometría, la interpretación de la tolerancia se realiza en apego a las correctas practicas de ingeniería, y no como se indica en el apartado 301.08 del CR2010, cuya sección actualizada se encuentra actualmente en consulta pública.

‡30% al 95 % mínimo del AASHTO T-99

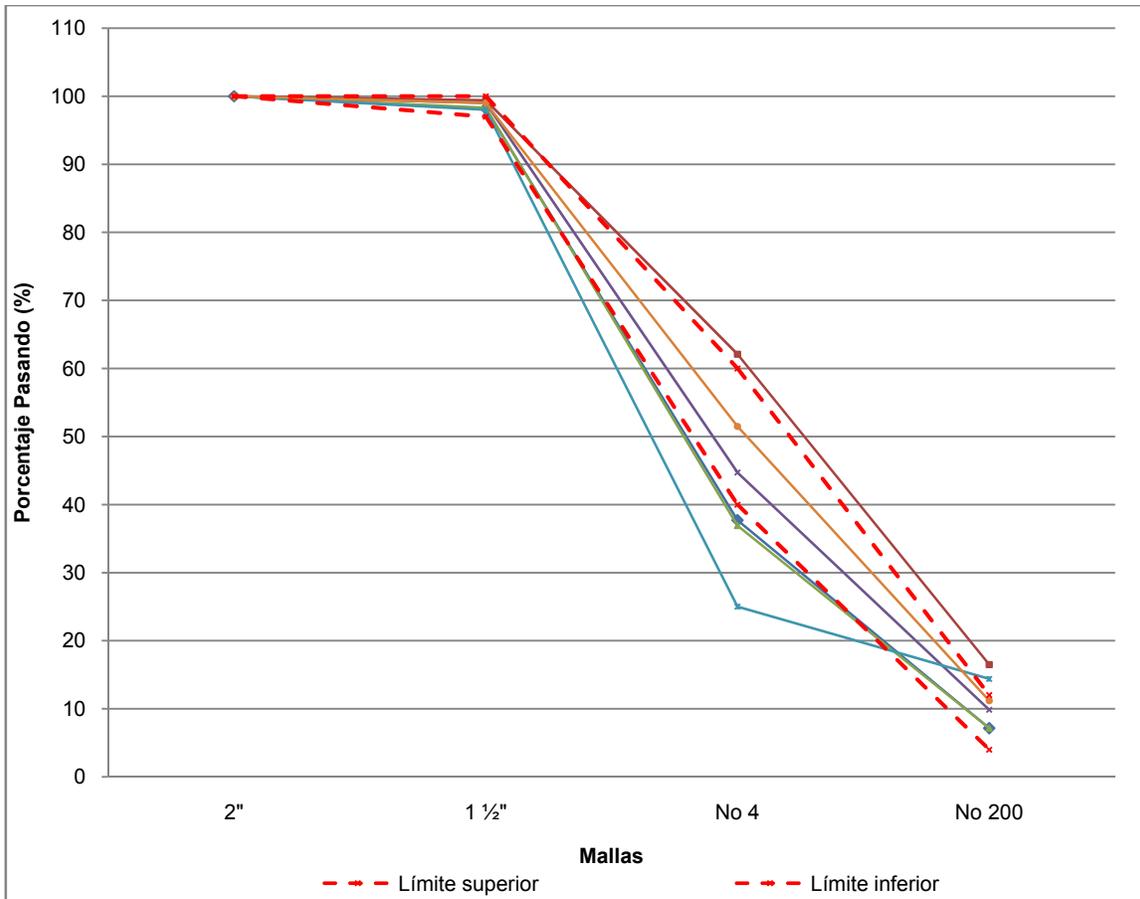
°50% mínimo acorde con AASHTO D 5821

° 50% máximo acorde con AASHTOT-96

† La muestra M-02413 se analiza en tres informes de laboratorio, en el informe ya que se reportan los resultados de los ensayos por separado.

A continuación de manera gráfica se puede observar la distribución de la curva granulométrica de las muestras ensayadas por el LanammeUCR en el Gráfico 1. En este gráfico se observa cómo algunos de los valores en la Mallas N°4 y N°200 están por fuera del límite inferior y del límite superior respectivamente de la especificación del CR-2010 para una subbase graduación B (indicada en el Cartel).

El valor debería ubicarse preferiblemente cercano al centro del rango especificado en esta normativa, y no cerca de los valores límites, a saber para el límite inferior el valor de 40% en el caso de la malla N°4, de 12% en el caso de la malla N° 200. Si se efectúa una comparación con los valores obtenidos para las muestras analizadas anteriormente, se determina que para las dos mallas mencionadas dichos valores se encuentran fuera del rango especificado. A nivel de producción no es conveniente mantener valores que se ubiquen en las proximidades o fuera de los valores límites de la especificación, debido a que la variación natural de un proceso productivo podría originar un incumplimiento. Esto se aplica también para el caso del CBR, ya que este parámetro también se encuentran por debajo del rango mínimo de 30% para 3 de los 6 ensayos realizados.



**Gráfico 1.** Análisis granulométrico para el material de la subbase para los estacionamientos estudiados del proyecto, según datos de LanammeUCR

Utilizando el mismo procedimiento indicado en la sección 107.05 del CR-2010 se analizan los resultados de ensayo del material de préstamo, para ejemplificar la importancia de la aplicación de las herramientas estadísticas el equipo de Auditoría Técnica aplica el análisis estadístico con los datos de las muestras ensayadas por el LanammeUCR, obteniendo un porcentaje total estimado de valores fuera de los rangos de trabajo (PT) para los parámetros en estudio expresado en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por el LanammeUCR del material de subbase

Descripción	Especificación	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Pasando la malla de 2"	100%	0,00	50,0
Pasando la malla 1 ½"	100%-97%	4,586	50,0
Pasando la malla No 4	60%-40%	57,983	50,0
Pasando la malla No 200*	4%-12%	45,400	50,0
Límite líquido (LL)	Máximo 25%	61,044*	50,0
Índice plástico (IP)	Máximo 4%	73,875*	50,0
Valor de soporte CBR	Mayor de 30%	8,218	50,0
Caras Fracturadas	Mínimo 50%	0,997	50,0
Índice de durabilidad agregado grueso	Mínimo 35%	4,147	50,0
Índice de durabilidad agregado fino	Mínimo 35%	38,956	50,0
Abrasión	Máximo 50%	1,364	50,0

Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido: Nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente, depende del número de muestras evaluadas.

\* Para el análisis de la granulometría, la interpretación de la tolerancia se realiza en apego a las correctas prácticas de ingeniería, y no como se indica en el apartado 301.08 del CR2010, cuya sección actualizada se encuentra actualmente en consulta pública

\* El análisis de estadístico de este parámetro se llevó a cabo solamente considerando los valores de LL e IP que registran valor numérico, no se consideraron los datos con resultado NP

Al igual que en el caso del material de préstamo, se efectúa el análisis estadístico con los resultados del material de subbase de acuerdo a la información de la Tabla 107-2 de la sección 107.05 del CR-2010. Para los ensayos de caras fracturadas e índice de durabilidad del agregado grueso no se cuenta con la suficiente cantidad de datos para realizar el análisis establecido en el cartel, ya que se requieren al menos 5 datos, por lo que se realiza una valoración estadística para informar a la Administración sobre los resultados obtenidos por esta Auditoría Técnica, y la variabilidad del proceso. Para los restantes ensayos se determina el porcentaje de trabajo fuera de los límites de especificación, como se muestra en la Tabla 9.

Es importante indicar que el número de muestras es reducido en comparación con la información de verificación y control de calidad con la que puede contar el CONAVI, por lo que le corresponde al Ingeniero de Proyecto realizar una revisión completa de toda la información disponible de ensayos de calidad (control y verificación) realizada al material de préstamo, para determinar la aceptación y respectivo pago de este material y así, la confirmación de los resultados presentados en este informe de Auditoría Técnica.

**Observación 4: Los resultados de material granular de subbase reportadas por el laboratorio de Verificación de Calidad (Consortio CACISA & Euroestudios) y por el laboratorio de Control Calidad del contratista (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos) no se encuentran dentro de los rangos de algunas de las especificaciones indicadas en el Cartel de Licitación del proyecto.**

Para describir esta observación primero se presentan los datos del laboratorio de Verificación de Calidad (CACISA & Euroestudios), y posteriormente se presentaran los datos del laboratorio de Control de Calidad (L.G.C. Ingeniería en pavimentos) facilitados por la Administración en ambos casos.

Para desarrollar esta sección del informe se toma como base el Cartel de Licitación Pública LPI No. 2011LI-000004-0DI00, y con especial atención la sección 107.05 del CR-2010.

En el Cartel de Licitación Sección VI. "Requisitos de obra" se especifica que dicho material de subbase y se especifica que esta debe ser graduación B.

Acorde con el CR-2010, división 300 "Capas de Base y Subbase" y el apartado 301.03 General se menciona que una subbase debe cumplir con las siguientes características:

- Abrasión de los Ángeles, AASHTO T 96 (50 % máx.)
- Índice de durabilidad (agregado grueso), AASHTO T 210 (35 mínimo)
- Índice de durabilidad (agregado fino), AASHTO T 210 (35 mínimo)
- Caras fracturadas, ASTM D 5821 (50 % mínimo)
- Libre de materia orgánica, grumos o arcillas
- Índice plástico no mayor de 4.
- Limite líquido máximo 25%
- CBR 30 min

Específicamente para una subbase graduación B se menciona que se debe cumplir la siguiente graduación:

Abertura de la malla	Porcentaje por peso pasando malla cuadrada AASHTO T 27 AASHTO T11	
	() indica la tolerancia permisible (±)	
50 mm	100	
37,5 mm	97-100	
4,75 mm	40-60 (8)	
75 µm	4-12 (4)*	

\* Para el análisis de la granulometría, la interpretación de la tolerancia se realiza en apego a las correctas practicas de ingeniería, y no como se indica en el apartado 301.08 del CR2010, cuya sección actualizada se encuentra actualmente en consulta pública

Al igual que en el caso de material de préstamo y utilizando como base la sección 29 " Pago en función de la calidad" se menciona: ... " *Se aplicará para la Base Estabilizada, Pavimento de hormigón asfáltico en caliente y/o Pavimento de Concreto Hidráulico*"... razón por la cual esta auditoría respaldó este análisis en la sección 107.05 del CR-2010.

- **Datos del laboratorio de Verificación de Calidad- Consorcio CACISA & Euroestudios**

A continuación se analizan los resultados de los ensayos realizados por el laboratorio de verificación de calidad (laboratorio de verificación Consorcio CACISA & Euroestudios) al material de subbase, al igual que con la información relacionada con la calidad del material de préstamo fue solicitada a la Unidad Ejecutora PIV I y entregada por parte de la Administración el día 17 de mayo del 2013 durante una visita al proyecto.

Los resultados de verificación de calidad con los que se trabajó en este informe se encuentran tabulados en el Anexo 1, Tabla 1.2. A partir del análisis mostrada en la Tabla 10 se puede observar que los resultados de los ensayos realizados de CBR cumplen con las especificaciones técnicas establecidas en el Cartel de Licitación del proyecto en mención, para la especificación relacionada con granulometría y plasticidad se observan incumplimientos en los límites establecidos por la especificación.

Tal y como se realizó con los datos anteriormente analizados se reportan los resultados del análisis estadístico donde se obtiene un porcentaje total estimado fuera de los rangos de trabajo (PT) para los parámetros en estudio, tal como se observa en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el laboratorio de verificación de calidad para el material de subbase.

Descripción	Especificación	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Pasando la malla de 2"	100%	0,0	32,703
Pasando la malla 1 ½"	100%-97%	48,481	32,703
Pasando la malla No 4	60%-40%	39,174	32,703
Pasando la malla No 200 <sup>‡</sup>	4%-12%	28,836	32,703
Límite líquido (LL)	Máximo 25%	46,127*	45,545
Índice plástico (IP)	Máximo 4%	8,600*	45,545
Valor de soporte CBR	Mayor de 30%	1,220	45,545
Caras Fracturadas	Mínimo 50%	0,0	50,0
Índice de durabilidad agregado grueso	Mínimo 35%	0,0	50,0
Índice de durabilidad agregado fino	Mínimo 35%	0,0	50,0
Abrasión	Máximo 50%	0,0	50,0

Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido: Nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente, depende del número de muestras evaluadas.

\* Para el análisis de la granulometría, la interpretación de la tolerancia se realiza en apego a las correctas prácticas de ingeniería, y no como se indica en el apartado 301.08 del CR2010, cuya sección actualizada se encuentra actualmente en consulta pública

\* El análisis de estadístico de este parámetro se llevó a cabo solamente considerando los valores de LL e IP que registran valor numérico, no se consideraron los datos con resultado NP

- Ensayos no reportados en los informes de verificación de calidad.

Tal y como se puede observar en la Tabla 10, el material ensayado por el Laboratorio de Verificación y analizado en este informe de Auditoría Técnica, no cumple con las especificaciones establecidas en el CR-2010 en cuanto a granulometría y plasticidad.

Los resultados obtenidos por dicho laboratorio, analizados mediante el procedimiento estadístico indicado en la sección 107.05 del CR-2010, determinan que el porcentaje de trabajo fuera de los límites de especificación es mayor al establecido como aceptable (sección 107.05, Tabla 107-2), consecuencia de la variabilidad existente en el proceso. Para el caso del análisis granulométrico se puede observar que se tiene un porcentaje fuera de los límites de especificación para la malla 1 ½" de 48,481% cuando el permitido es de 32,703%.

- **Datos del laboratorio de Control de Calidad- L.G.C. Ingeniería en Pavimentos**

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados por el laboratorio de control de calidad (laboratorio L.G.C. Ingeniería en Pavimentos) al material de subbase. En el Anexo 2, Tabla 2.2 se presentan los resultados de control de calidad obtenidos del material de subbase con los que se realizó este informe de auditoría técnica. Del análisis realizado (presentado en la Tabla 11) los datos observados se puede determinar que los resultados de los ensayos realizados de, plasticidad, CBR, abrasión, porcentaje de caras fracturadas e índice de durabilidad cumplen con las especificaciones técnicas establecidas en el Cartel de Licitación del proyecto en mención, a diferencia de la malla No 200.

Se aplicó para el análisis estadístico de estos datos, y para ejemplificar el uso de dicho procedimiento, la sección 107.05 del CR-2010, esta vez con los resultados de las muestras reportados por el laboratorio de control de calidad (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos), donde se obtiene un porcentaje total estimado fuera de los rangos de trabajo (PT) para los parámetros en estudio expresado en la Tabla 11, se enfatiza que no se pretende determinar un valor para el factor de pago.

**Tabla 11.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el laboratorio de control de calidad para el material de subbase.

Descripción	Especificación	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Pasando la malla de 2"	100%	0,00	30.00
Pasando la malla 1 ½"	100%-97%	26,000	30.00
Pasando la malla No 4	60%-40%	23,239	30.00
Pasando la malla No 200 <sup>‡</sup>	4%-12%	35,257	30.00
Límite líquido (LL)	Máximo 25%	0,041*	36.944
Índice plástico (IP)	Máximo 4%	16,294*	36.944
Valor de soporte CBR	Mayor de 30%	0,790	44.025
Caras Fracturadas	Mínimo 50%	0,475	48.618
Índice de durabilidad agregado grueso	Mínimo 35%	15,675	48.618
Índice de durabilidad agregado grueso	Mínimo 35%	13,77	48.618
Abrasión	Máximo 50%	1,042	48.618

Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido: Nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente, depende del número de muestras evaluadas.

<sup>‡</sup> Para el análisis de la granulometría, la interpretación de la tolerancia se realiza en apego a las correctas practicas de ingeniería, y no como se indica en el apartado 301.08 del CR2010, cuya sección actualizada se encuentra actualmente en consulta pública

\* El análisis estadístico de este parámetro se llevó a cabo solamente considerando los valores de LL e IP que registran valor numérico, no se consideraron los datos con resultado NP

Tal y como se puede observar en la Tabla 11, el material analizado en este informe de Auditoría Técnica, cumple con las especificaciones establecidas en el CR-2010, excepto para la malla No 200, ello de acuerdo con los resultados obtenidos por el laboratorio de Control de Calidad ya que en la mayoría de los parámetros evaluados el porcentaje de trabajo fuera de los límites establecidos (debido a la variabilidad del proyecto) y calculado con las herramientas estadísticas de la sección 107.05 del CR-2010 es menor al máximo valor permitido.

Cabe reiterar que es responsabilidad del Ingeniero de Proyecto realizar una revisión completa con toda la información disponible tanto de verificación como de control de calidad realizada al material de subbase, para determinar la aceptación y respectivo pago de este material.

**C. SOBRE LOS RESULTADOS DEL MATERIAL UTILIZADO COMO CAPA DE BASE ESTABILIZADAS DE ACUERDO A LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS ENSAYADO POR EL LANAMMEUCR, LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD (L.G.C INGENIERÍA EN PAVIMENTOS) Y EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD (CONSORCIO CACISA & EUROESTUDIOS)**

**Observación 5: Los resultados de resistencia a la compresión de la capa de base estabilizada BE-35 para 5 muestras ensayadas por el LanammeUCR cumplen con la especificación indicada en el Cartel de Licitación del proyecto para resistencia a la compresión acorde con el análisis estadístico.**

A partir de ensayos a cilindros moldeados en sitio de la base estabilizada BE-35, se obtuvo que la resistencia promedio a la compresión a los 7 días de las muestras ensayadas presentan valores por encima del valor promedio ( $40 \text{ kg/cm}^2$ ) indicado en la especificación del Cartel de Licitación sección VI "*Requisitos de Obra*", apartado 10 "*Base Mejorada con Cemento (Recuperación de Pavimento existente de 20 cm de espesor), para la Alternativa de Pavimento Rígido*" donde menciona el valor promedio de resistencia a la compresión.

En la Tabla 12 se presentan los resultados de resistencia a la compresión para el material de base estabilizada muestreado por el laboratorio del LanammeUCR, en el proyecto Cañas-Liberia.

**Tabla 12.** Resultados de ensayos para las 5 muestras de resistencia a la compresión para base estabilizada BE-35 en el proyecto Cañas-Liberia, datos del LanammeUCR.

Información General				Resistencia	
Informe	Muestra	Est.	Fecha	Resistencia Promedio	Desviación estándar
Especificación				Mínimo 30 kg/cm <sup>2</sup> Promedio 40 kg/cm <sup>2</sup>	
I-0073-13	0100-13	208+120	23/01/2013	48,2	8,0
	0101-13			61,2	5,9
I-0149-13	0237-13	202+030	08/02/2013	51,7	2,1
I-0315-13	0461-13	199+820	06/03/2013	28,1	2,3
	0462-13	199+880		38,1	2,7
I-0316-13	0622-13	180+630 CD	19/03/2013	50,9	1,9
	0629-13	180+630CI	19/03/2013	43,2	4,1

En la Tabla 12 se puede observar que los valores de resistencia obtenidos para la base estabilizada BE-35 son en general mayores al promedio establecido en el Cartel de Licitación, y uno de ellos menor al valor establecido como mínimo, el valor promedio de este grupo de datos es 45,5 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que lo establecido por especificación es de 40 kg/cm<sup>2</sup>.

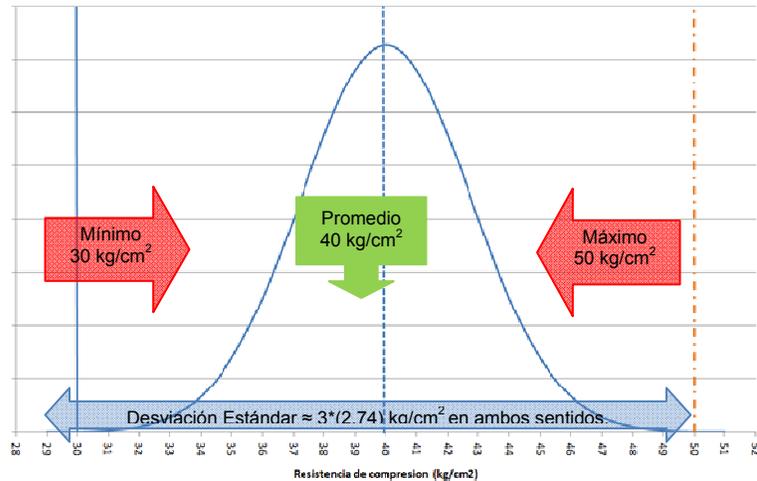
De acuerdo con el Cartel de Licitación sección VI "Requisitos de Obra", apartado 10. "Base Mejorada con Cemento (Recuperación de Pavimento existente de 20 cm de espesor), para la Alternativa de Pavimento Rígido" donde se indica que:

*"La resistencia de la base mezclada con el porcentaje de cemento portland establecido y compactado al 100% de la densidad máxima obtenida según ensayo AASHO T-134 deberá cumplir con el siguiente requisito de acuerdo al tipo de base estabilizada especificada:*

Tipo de base estabilizada	Resistencia mín. permisible kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia promedio kg/cm <sup>2</sup>	Tiempo de curado
BE-35	30	40	7 días

Por otro lado el cartel de licitación no detalla de forma explícita el valor máximo de resistencia a la compresión, pero este se puede inferir mediante un proceso estadístico un valor de 50kg/cm<sup>2</sup>, como se describe en la sección 9.3 de este informe de auditoría técnica.

Para calcular mediante inferencia estadística la desviación estándar máxima aceptable para una muestra dada (que para este caso asume 30 muestras, una por cada día de colocación de base estabilizada en un mes), que de manera simultánea cumpla con los valores de resistencia mínima y resistencia promedio (30 y 40 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente), tal como se ejemplifica en el Gráfico 2.



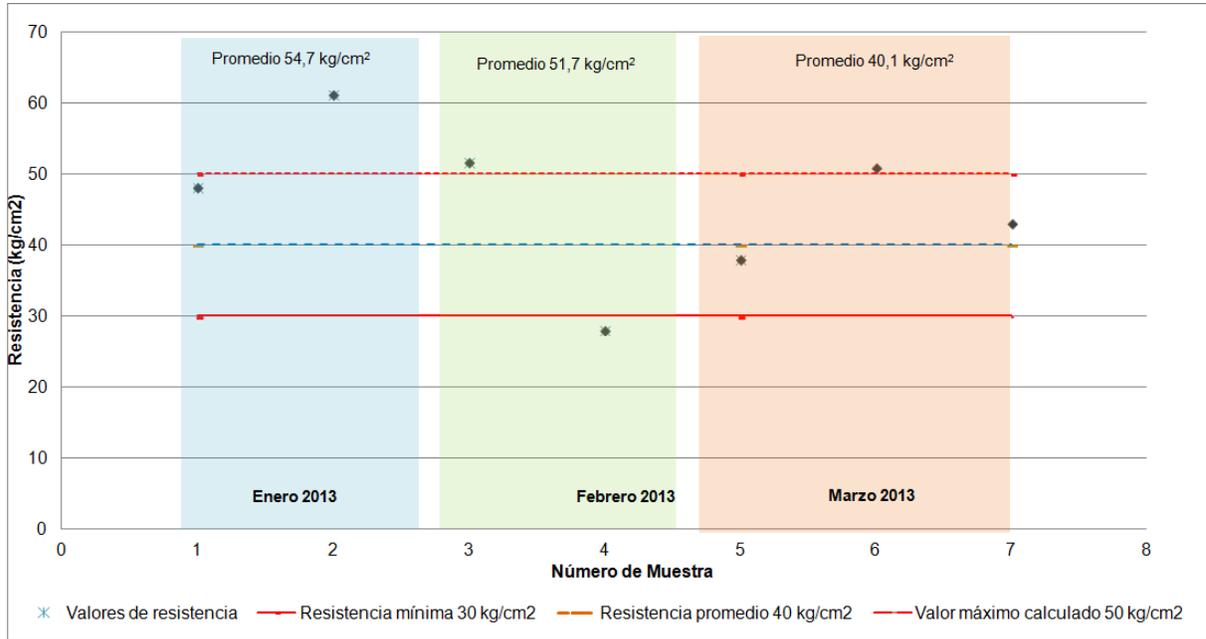
**Gráfico 2.** Curva de distribución normal, que cumpliría de manera simultánea el valor mínimo y promedio de resistencia a la compresión, para una desviación estándar máxima aceptable para un tamaño de muestra conocido.

Adicionalmente cabe recalcar que la PCA<sup>6</sup> indica que la principal razón para limitar la resistencia es minimizar el agrietamiento por contracción causado por altos contenidos de cemento y agua, y que recae en resistencias mayores a los 40 kg/cm<sup>2</sup>. La experiencia ha demostrado que resistencias altas pueden causar agrietamientos, que de ser severos podrían permitir la entrada de agua libre a la superficie de la capa de base y causar deterioros (por ejemplo bombeo).

Altas resistencias a la compresión de la capa de base estabilizada podría conducir a que presente agrietamientos por contracción. Como consecuencia a este agrietamiento para en 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. Es función de una base estabilizada con cemento contribuir como superficie impermeable que impida el paso del agua libre con material fino hacia la superficie, produciendo el fenómeno del bombeo, además de colaborar en el control de hinchamiento y contracción del suelo (subrasante), entre otras (Ver sección 9.4).

Gráficamente, los resultados obtenidos por el LanammeUCR para las muestras de resistencia a la compresión de la base estabilizada, se presentan a continuación en el Gráfico 3 en donde se puede observar el comportamiento del material muestreado. En este gráfico se puede observar dos valores que sobrepasan el *límite teórico* mencionado en la sección 9 "Marco Teórico" de 50 kg/cm<sup>2</sup>, también se puede observar un valor muy cercano al valor promedio establecido en el Cartel de Licitación y un valor que está por debajo del límite mínimo establecido.

<sup>6</sup> The Portland Cement Association



**Gráfico 3.** Análisis resistencia a la compresión para el material de la Base Estabilizada BE-35 para estacionamientos estudiados del proyecto Cañas-Liberia, según datos de LanammeUCR

Utilizando como base el criterio expuesto 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, el equipo de auditoría técnica realizó un análisis estadístico con base en las muestras ensayadas por el Laboratorio del LanammeUCR, donde se obtiene un porcentaje total estimado fuera de los rangos de trabajo (porcentaje defectuoso, PT) de 46,0%, de acuerdo a la tabla C de la sección 29 para una muestra de 5 datos el valor permitido es de 64,0%.

**Tabla 13.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por el laboratorio de control de calidad para el material de subbase.

Parámetro	Categoría	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
BE-35	I	44	64

Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido: Nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente, depende del número de muestras evaluadas que en el presente caso es de cinco muestras.

Cabe recalcar que la cantidad de muestras con que cuenta el LanammeUCR es limitada en comparación con los datos de control y verificación de la calidad, pero este análisis tiene como objetivo alertar a la ingeniería de proyecto para que verifique los resultados de laboratorio con los que cuenta el proyecto y los procesos constructivos en campo en virtud del bienestar del proyecto y la integridad de la inversión del Estado.

**Observación 6: Los resultados de base estabilizada BE-35 ensayadas por el laboratorio de Verificación de Calidad (Consorcio CACISA & Euroestudios) y por el laboratorio de Control Calidad del contratista (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos) no se encuentran dentro de los rangos de las especificaciones indicadas en el Cartel de Licitación del proyecto.**

Para describir esta observación primero se presentan los datos del laboratorio de Verificación de Calidad (CACISA & Euroestudios), y posteriormente se presentaran los datos del laboratorio de Control de Calidad (L.G.C. Ingeniería en pavimentos) facilitados por la Administración en ambos casos.

Para desarrollar esta sección del informe se toma como base el Cartel de Licitación Pública LPI No. 2011LI-000004-0DI00, y con especial atención la sección 29 "Pago de obra ejecutada en función de la calidad".

En el Cartel de Licitación Sección VI. "Requisitos de obra" apartado 10. "Base Mejorada con Cemento (Recuperación de Pavimento existente de 20 cm de espesor), para la Alternativa de Pavimento Rígido" se describe las especificaciones necesarias para cumplir con la capa de base estabilizada BE-35 a saber:

*"La resistencia de la base mezclada con el porcentaje de cemento portland establecido y compactado al 100% de la densidad máxima obtenida según ensayo AASHTO T-134 deberá cumplir con el siguiente requisito de acuerdo al tipo de base estabilizada especificada:*

Tipo de base estabilizada	Resistencia mín. permisible kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia promedio kg/cm <sup>2</sup>	Tiempo de curado
BE-35	30	40	7 días

*"Agregados. El agregado virgen para la base tratada con cemento, deberá consistir en partículas duras y durables de escorias, piedras, gravas, pizarras, tobas o lastres terminados o triturados para obtener la graduación que se indica a continuación:"*

Tamiz	% Pasando
38.1 mm	100
N° 4	50-80
N° 40	20-50
N°200	5-20

Adicionalmente el material deberá satisfacer las siguientes especificaciones:

<i>Descripción</i>	<i>Especificación</i>
<i>Pasando la malla de 76,2 mm</i>	<i>100%</i>
<i>Límite líquido</i>	<i>Máximo 30 %</i>
<i>Índice plástico</i>	<i>Máximo 7 %</i>
<i>Grado de compactación</i>	<i>95 % mínimo del AASHTO T-99</i>

Adicionalmente en el sección 29 " Pago en función de la calidad" se menciona: ... " Se aplicará para la Base Estabilizada, Pavimento de hormigón asfáltico en caliente y/o Pavimento de Concreto Hidráulico"... por lo tanto en el presente apartado se desarrollará este análisis.

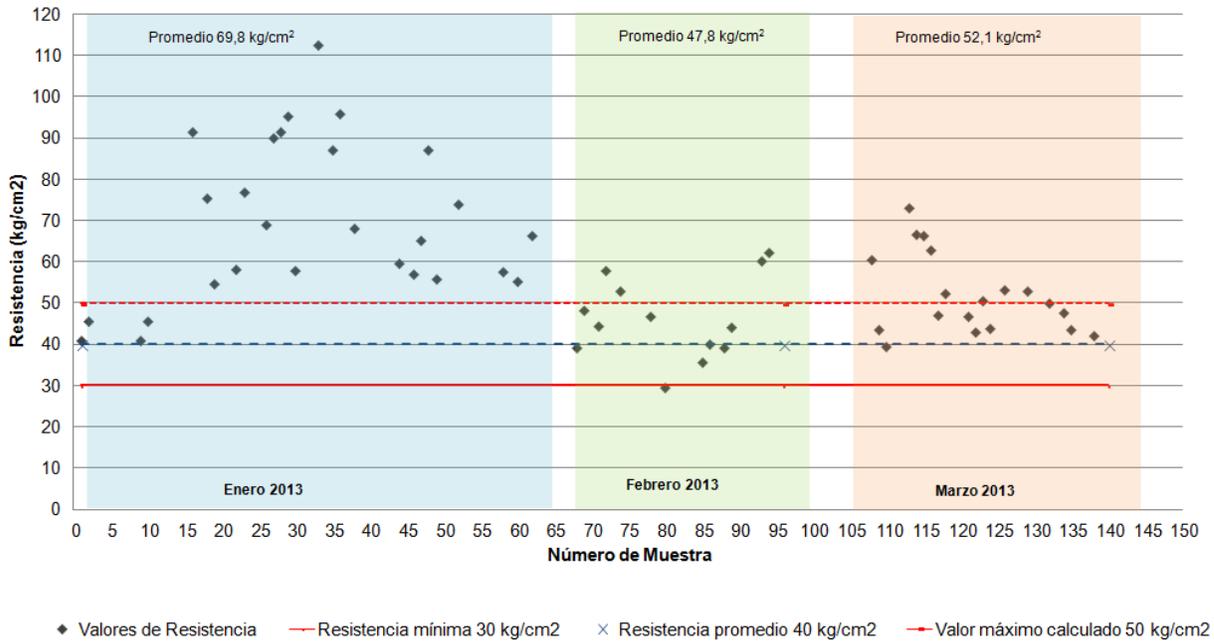
- **Datos del laboratorio de Verificación de Calidad- Consorcio CACISA & Euroestudios**

A continuación se analizan los resultados de los ensayos realizados por el laboratorio de verificación de calidad (laboratorio de verificación Consorcio CACISA & Euroestudios) a la base estabilizada, al igual que con la información relacionada con la calidad del material de préstamo y subbase fue solicitada a la Unidad Ejecutora PIV I y entregada por parte de la Administración el día 17 de mayo del 2013 durante una visita al proyecto.

Los resultados de verificación de calidad con los que se trabajó en este informe se encuentran tabulados en el Anexo 1, Tabla 1.3. De los gráficos 4 y 5 se puede observar que existen incumplimientos a nivel granulométrico en las diferentes mallas, además de apreciar valores de la resistencia a la compresión superiores al valor promedio establecido en el Cartel de Licitación.

A continuación en el Gráfico 4 se observa de manera representativa los valores obtenidos de resistencia a la compresión, contrastados con los límites de la especificación para los tres meses que corresponden al periodo de estudio de este informe de auditoría técnica (enero, febrero y marzo).

Tal y como se puede observar en el gráfico la mayoría de los datos está por encima del promedio de 40,0 kg/cm<sup>2</sup> establecido en el Cartel de Licitación (línea continua verde), con un promedio de 58,8 kg/cm<sup>2</sup> para el grupo de datos en estudio lo que resulta en un aumento de aproximadamente 20,0 kg/cm<sup>2</sup> en la resistencia promedio requerida. Esto podría ser un indicio de variabilidad en el proceso de elaboración y colocación de la base estabilizada, situación que corresponde a la Ingeniería de Proyecto verificar con la información de control y verificación de calidad existente.

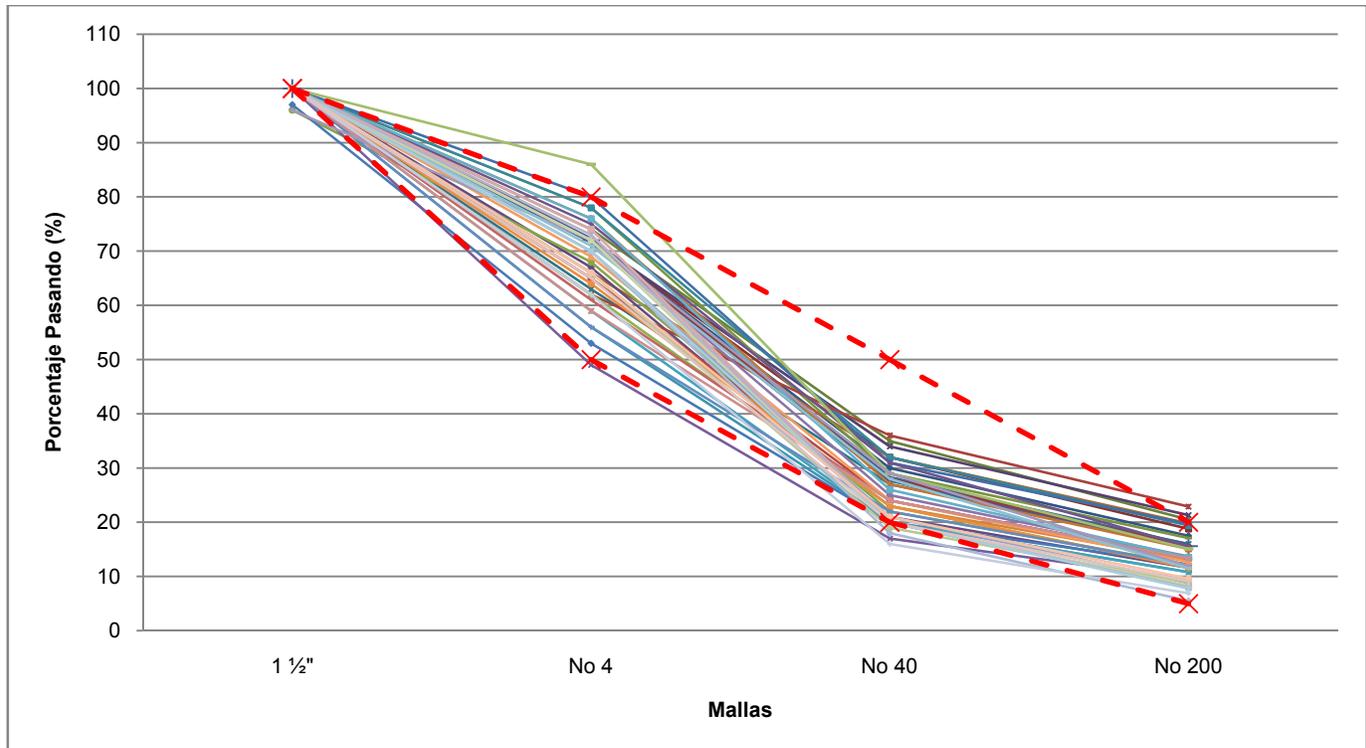


**Gráfico 4.** Análisis resistencia a la compresión para el material de la Base Estabilizada BE-35 para estacionamientos estudiados del proyecto Cañas-Liberia, según datos de Verificación de Calidad (Cacisa&Euroestudios)

Por otro lado si bien es cierto el cartel de licitación no detalla explícitamente el valor máximo de resistencia a la compresión máximo permitido, se puede deducir de un proceso estadístico un valor de 50 kg/cm<sup>2</sup>, como se describe en la sección 9.3 de este informe de auditoría técnica. Los resultados, obtenidos del análisis, describen valores que sobrepasan este límite (50 kg/cm<sup>2</sup>) en un 63% aproximadamente para el total de muestras analizadas en el periodo de estudio (enero a marzo del 2013).

Importante de recalcar del gráfico anterior (Ver Gráfico 4) como la variabilidad de los datos era alta y un porcentaje bajo de ellos se acercaba a los límites especificados (promedio y límite inferior) durante el mes de enero del 2013, y como ya para los mes de febrero y marzo del 2013 la variabilidad disminuye y los porcentajes fuera de los rangos establecidos disminuyen también, esto se puede apreciar en el gráfico 4, donde se observa con el mes de enero del 2013 se presenta un valor promedio de 69,8 kg/cm<sup>2</sup> mayor al obtenido en el mes de marzo del 52,1 kg/cm<sup>2</sup>.

En cuanto al requerimiento de las curvas granulométricas del material granular utilizado como base estabilizada, en los datos aportados por la Administración, se puede observar que existe un porcentaje de los datos por debajo del límite inferior mayormente en la Malla N° 40 (Ver Gráfico 5)



**Gráfico 5.** Análisis granulométrico para el material de la base estabilizada BE-35 para los estacionamientos estudiados del proyecto, según datos de Verificación de Calidad.

Como se mencionó anteriormente, es recomendable que la curva granulométrica se ubique preferiblemente cercana al centro del rango especificado, evitando acercarse a los límites o salirse de ellos, por ejemplo, el límite inferior tiene un valor de 20% pasando en el caso de la malla N° 40, es preferible que la curva granulométrica se aleje del mismo, acercándose a un valor ideal de 35%. A nivel de producción no es conveniente mantener valores que se ubiquen en las proximidades de los valores límites de la especificación debido a que la variación natural de un proceso productivo podría originar un incumplimiento o ubicar la curva granulométrica evidentemente fuera de ellos.

Utilizando como base el criterio expuesto 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, el equipo de auditoría realizó un análisis estadístico con base en las muestras ensayadas por el Laboratorio de Verificación de Calidad (Consortio Cacisa & Euroestudios) donde se aplicó la sección 29 del Cartel de Licitación, donde se obtiene un porcentaje total estimado fuera de los rangos de trabajo (PT) y Factor de pago en función de la calidad (FPQ) para los parámetros en estudio por mes de análisis, expresado en la siguiente tabla (Ver Tabla 13).

**Tabla 14.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados y factor de pago en función de la calidad para las muestras de base estabilizada ensayadas por el laboratorio de verificación de calidad.

Mes	Parámetro	Categoría	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Enero	1 ½"	II	38,0	49,0
	No 4	II	11,0	49,0
	No 40	II	9,0	49,0
	No 200	II	15,0	49,0
	BE-35	I	87,0*	48,0
Febrero	100	II	1,0	53,0
	63	II	49,0	53,0
	27	II	13,0	53,0
	16	II	0,0	53,0
	BE-35	I	49,0*	53,0
Marzo	1 ½"	II	1,0	57,0
	No 4	II	1,0	57,0
	No 40	II	39,0	57,0
	No 200	II	4,0	57,0
	BE-35	I	60,0*	49,0

Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido: Nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente, depende del número de muestras evaluadas.

\*Porcentaje fuera de los límites calculados con base al límite superior inferido mediante estadística de 50 kg/cm<sup>2</sup>.

Tal y como se puede observar en la Tabla 14, para el caso de la base estabilizada BE-35, en el mes de enero del 2013 el Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación es mayor al permitido por la especificación cartelaria para una muestra de 26, al igual que en el caso de marzo del 2013 donde se observa que el valor del porcentaje calculado es de 60% en contraposición con un máximo permitido de 49 para una muestra de 19 datos, por lo que de acuerdo con los criterios de evaluación y pago establecidos contractualmente, el material evaluado no cumplía con las especificaciones y por ende deben tomarse las medidas del caso.

Por todo lo anterior, es importante controlar la cantidad de cemento que se ha de adicionar a los materiales granulares que se estabilizarán, para de esta forma limitar la resistencia a la compresión de los materiales estabilizados a valores menores al indicado por la PCA (resistencia a 7 días de 45 kg/cm<sup>2</sup>) y evitar el agrietamiento o el uso excesivo de cemento.

Como se mencionó en el apartado 9. Marco Teórico de este informe de Auditoría Técnica, sub sección 9.4, para altas resistencias a la compresión de la capa de base estabilizada podría conducir a que presente agrietamientos por contracción. Como consecuencia a este

agrietamiento para en 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.

Es función de una base estabilizada con cemento contribuir como superficie impermeable que impida el paso del agua libre con material fino hacia la superficie, produciendo el fenómeno del bombeo, además de colaborar en el control de hinchamiento y contracción del suelo (subrasante). Si con la utilización de una capa de base estabilizada se previene el bombeo y con esto el deterioro prematuro de la losa de concreto, se asegura el buen desempeño del proyecto en el periodo de diseño.

Cabe reiterar que es responsabilidad del Ingeniero de Proyecto realizar una revisión completa con toda la información disponible tanto de verificación como de control de calidad realizada al material de base estabilizada, para determinar la aceptación y respectivo pago de este material.

- **Datos del laboratorio de Control de Calidad- L.G.C. Ingeniería en Pavimentos**

A continuación se analizan los resultados de los ensayos realizados por el laboratorio de control de calidad (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos) a la base estabilizada, al igual que con la información relacionada con la calidad del material de préstamo y subbase fue solicitada a la Unidad Ejecutora PIV I y entregada por parte de la Administración el día 17 de mayo del 2013 durante una visita al proyecto.

Los resultados de control de calidad con los que se trabajó en este informe se encuentran tabulados en el Anexo 2, Tabla 2.3. Se puede observar en la Tabla 15 que no hay incumplimientos a nivel granulométrico. Pero se pueden apreciar valores de resistencia a la compresión superiores al valor promedio establecido en el Cartel de Licitación de  $40 \text{ kg/cm}^2$ .

A continuación en el siguiente gráfico (Ver Gráfico 6) se observa de manera descriptiva los valores obtenidos de resistencia a la compresión, y los límites de la especificación (valor mínimo de  $30 \text{ kg/cm}^2$  y el valor promedio de  $40 \text{ kg/cm}^2$ ) así como el límite calculado a partir de inferencia estadística descrito en el apartado 8.3 de  $50 \text{ kg/cm}^2$ . Esto para los tres meses que corresponden al periodo de estudio de este informe de auditoría técnica (enero, febrero y marzo del 2013).

Del Gráfico 6 se observa que la mayoría de los datos está por encima del promedio de  $40 \text{ kg/cm}^2$  establecido en el Cartel de Licitación (línea continua verde), con un promedio para el grupo de datos en estudio de  $53.3 \text{ kg/cm}^2$  lo que resulta en un aumento de casi  $13 \text{ kg/cm}^2$  en la resistencia promedio requerida. Si bien es cierto el valor máximo de resistencia a la compresión no se describe explícitamente en el cartel de licitación, deduciendo de un proceso estadístico como se indicó anteriormente se obtiene un valor de  $50 \text{ kg/cm}^2$ . Aproximadamente el 55% de los resultados reportados por el control de calidad (analizados en el presente informe) sobrepasan es valor de  $50 \text{ kg/cm}^2$ .

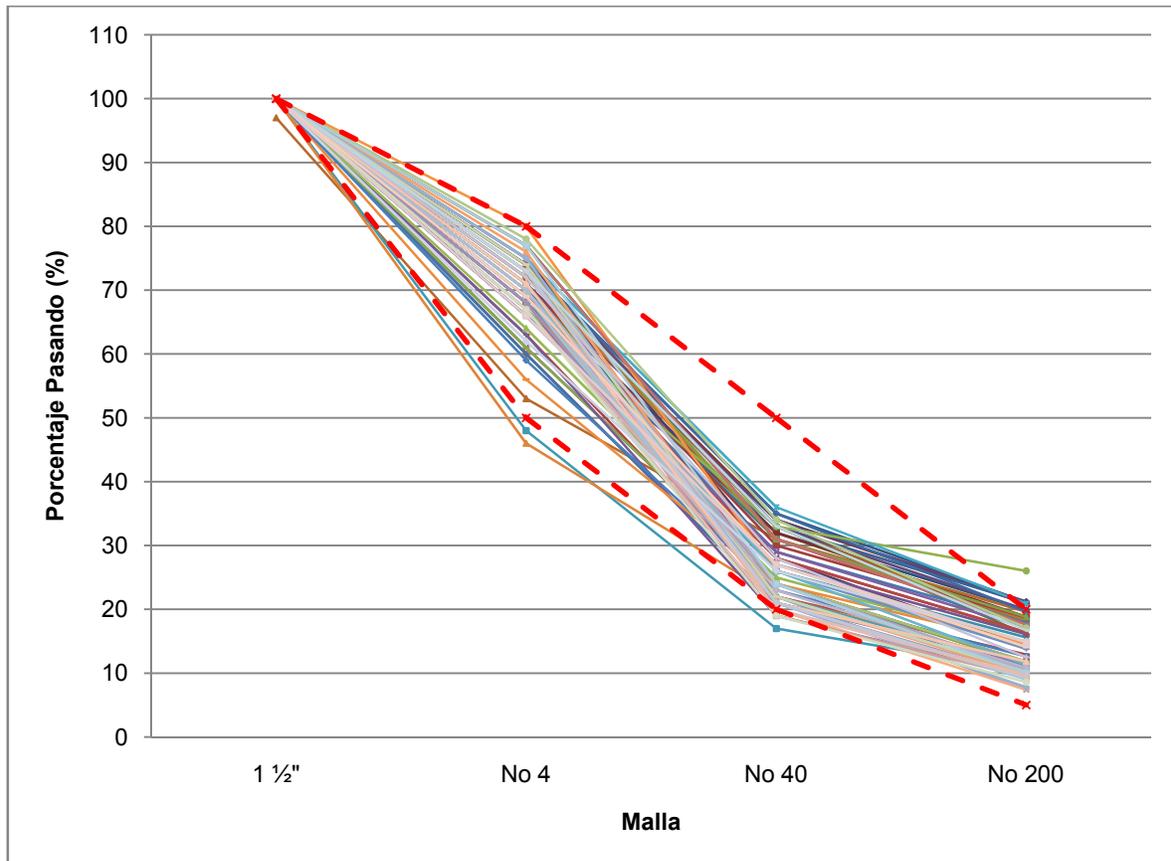
Es importante controlar el valor de resistencia a la compresión de la capa de base estabilizada, para evitar un exceso de resistencia que provocaría una gran rigidez, volviéndola susceptible al agrietamiento y a problemas de fisuración por contracción, con la consecuencia de la formación de grietas en esta capa.

Si bien es cierto como se mencionó anteriormente en la sub sección 9.4 de este informe de Auditoría Técnica, para valores de alta resistencia a la compresión de la capa de base estabilizada podría conducir a que presente agrietamientos por contracción. Como consecuencia a este agrietamiento para en 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 6.** Análisis resistencia a la compresión para el material de la Base Estabilizada BE-35 para estacionamientos estudiados del proyecto Cañas-Liberia, según datos de Control de Calidad (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos)

En cuanto al requerimiento en las curvas granulométricas del material granular utilizado como base estabilizada, en los datos aportados por la Administración se puede observar que existe un porcentaje mínimo de datos fuera del rango establecido, por ejemplo dos de las curvas se encuentran por debajo del límite inferior en la Malla N° 4 y N°40 (Ver Gráfico 7), pero en general las curvas granulométricas del material de base estabilizada BE-35 se encuentran dentro de los límites establecidos por la especificación acorde con los datos reportados por este laboratorio.



**Gráfico 7.** Análisis granulométrico para el material de la base estabilizada BE-35 para los estacionamientos estudiados del proyecto, según datos de Control de Calidad.

Como se mencionó anteriormente a nivel de producción no es conveniente mantener valores que se ubiquen en las proximidades de los valores límites de la especificación debido a que la variación natural de un proceso productivo podría originar un incumplimiento o evidentemente fuera de ellos.

Al igual que en la observación anterior utilizando como base el criterio expuesto 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, el equipo de auditoría realizó un análisis estadístico con base en

las muestras ensayadas por el Laboratorio de Control de Calidad (L.G.C.) donde se aplicó la sección 29 del Cartel de Licitación, donde se obtiene un porcentaje total estimado fuera de los rangos de trabajo (PT) calculado en contraposición con el permitido por el cartel de licitación. (ver Tabla 15)

**Tabla 15.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados y factor de pago en función de la calidad para las muestras de base estabilizada ensayadas por el laboratorio de control de calidad.

Mes	Parámetro	Categoría	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Enero	1 ½"	II	0,0	48,0
	No 4	II	4,0	48,0
	No 40	II	1,0	48,0
	No 200	II	19,0	48,0
	BE-35	I	78,0*	44,0
Febrero	100	II	0,0	48,0
	63	II	10,0	48,0
	27	II	14,0	48,0
	16	II	10,0	48,0
	BE-35	I	53,0*	44,0
Marzo	1 ½"	II	0,0	49,0
	No 4	II	1,0	49,0
	No 40	II	21,0	49,0
	No 200	II	2,0	49,0
	BE-35	I	44,0*	46,0

Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido: Nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente, depende del número de muestras evaluadas.

\*Porcentaje fuera de los límites calculados con base al límite superior inferido mediante estadística de 50 kg/cm<sup>2</sup>.

En la Tabla 15, para el caso de la base estabilizada BE-35, en el mes de enero del 2013 el Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación es mayor al permitido por la especificación cartelaria para una muestra de 64 datos, al igual que en el caso de febrero del 2013 donde se observa que el valor del porcentaje calculado es de 53% en contraposición con un máximo permitido de 44 para una muestra de 44 datos, por lo que de acuerdo con los criterios de evaluación y pago establecidos contractualmente, el material evaluado no cumplía con las especificaciones y por ende deberían tomarse las medidas del caso. Cabe mencionar que en el caso del mes de febrero del 2013 el porcentaje calculado fuera de los de especificación es de 44% cercano al valor de 46% permitido a nivel cartelario.

Se puede observar que los porcentajes fuera de los de especificación calculados disminuyen del mes de enero que se obtuvo un valor alto de 78%, a los meses de febrero y marzo donde se obtienen valores de 53% y 44% respectivamente, esto describe un proceso mejor controlado y con una variabilidad menor.

Es responsabilidad del Ingeniero de Proyecto realizar una revisión completa con toda la información disponible tanto de verificación como de control de calidad realizada al material de base estabilizada, para determinar la aceptación y respectivo pago de este material.

#### **D. SOBRE EL RESULTADO DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL IRI EN SECCIONES DE BASE ESTABILIZADA DEL PROYECTO.**

**Observación 7. El valor calculado del Índice de Regularidad Internacional (IRI) para secciones del proyecto de base estabilizada BE-35 es de 5,0 m/km en promedio.**

El siguiente análisis pretende brindar una referencia para el personal de la Administración, con la finalidad de determinar una magnitud de la variación de la regularidad superficial de la base estabilizada construida en diversas secciones del proyecto y de esta manera alertar de aquellas secciones en donde se tienen magnitudes considerables, para que de antemano se definan medidas preventivas en el proceso constructivo, en aras de lograr alcanzar y garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos para el presente proyecto. Así como instaurar un proceso de aprendizaje y mejora continua sobre el procedimiento y acciones necesarias para cumplir con las especificaciones.

No tiene como finalidad evaluar el Índice de Regularidad Internacional como parámetro contractual para la base estabilizada en el proyecto, ya que el mismo no se encuentra establecido en el cartel de licitación.

A continuación se presenta la Tabla 16 el valor del IRI característico por sección del proyecto donde se realizó el cálculo del Índice de Regularidad Internacional IRI en secciones de la capa de base estabilizada BE-35. Cabe recalcar que este parámetro se calculó utilizando la base de medición de 200 m, indicada como la base de medición correspondiente para el pavimento de concreto en el Cartel de Licitación del proyecto en la Sección VI. Requisitos de las obras "*Control de Regularidad*".

Se puede observar que los valores de IRI característico cada 200 m calculados en las secciones indicadas rondan los valores de 3.7 a 7.0 m/km en la capa de la base estabilizada, cabe mencionar que el valor de IRI solicitado en la capa final del pavimento de concreto, de acuerdo al Cartel de Licitación debe ser de 2,0 m/km en el caso de los valores individuales y menor a 1,5 m/km para el promedio consecutivo de cinco tramos de 200 metros (media móvil).

La medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en intervalos de 200 m se utiliza generalmente para realizar una evaluación a nivel de red vial, en la que no se requiere de mediciones detalladas, y las cuales se utilizan para programar intervenciones de

mantenimiento o de reconstrucción y definir prioridades sin entrar en detalle. Por lo general a nivel de proyecto se utilizan patrones de medición de 100 metros o menos.

**Tabla 16.** Datos de IRI característico en la capa de base estabilizada de secciones del proyecto.

Estacionamiento		Lado	Desviación estándar	IRI (m/km) característico
196+500	198+870	Derecho	0.4	3.7
198+870	196+500	Derecho	0.4	3.8
199+430	200+050	Derecho	0.5	3.7
200+050	199+430	Derecho	0.2	3.8
200+310	200+665	Derecho	0.1	5.0
200+665	200+310	Derecho	0.1	5.0
201+780	202+410	Derecho	0.7	4.5
203+640	204+100	Izquierdo	0.6	6.1
204+100	203+645	Derecho	0.8	7.0
205+030	205+670	Derecho	0.5	5.9
206+600	208+340	Derecho	0.4	5.1
208+340	206+600	Derecho	1.0	4.8
208+540	211+100	Derecho	1.2	6.0
212+074	208+540	Derecho	1.4	5.8
211+300	212+000	Izquierda	0.4	4.7
212+000	211+300	Izquierda	0.6	5.0

Se recomienda a la Unidad Ejecutora de este proyecto velar que se controle este parámetro en su etapa de construcción desde las capas inferiores, en vista que estas contribuyen de manera directa con la calidad del proyecto y de la superficie de ruedo específicamente.

Procurar índices de regularidad bajos en la superficie de ruedo, garantiza una inversión más efectiva de los recursos en la construcción de obra nueva, ya que niveles de IRI iniciales más bajos se traducen en una mayor vida útil, costos anuales de mantenimiento y costos de operación de los vehículos más bajos, confort y seguridad, lo cual redundará en un beneficio para los usuarios de las vías de este país.

De igual forma, estos resultados de índice de regularidad internacional (IRI) en secciones de la base estabilizada, fueron comunicados a la Ingeniería de Proyecto mediante el oficio LM-IC-D-0553-2013 del 13 de mayo de 2013 emitidos por el Ing. Alejandro Navas Carro, MSc, Director del LanammeUCR, con el propósito de que se tomaran las medidas pertinentes en virtud de su función y en procura de un buen desempeño del proyecto.

## 12. CONCLUSIONES

**12.1** 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:

- LanammeUCR: Determina que 4 de las 3 muestras obtenidas se encuentran fuera de los rangos de la especificación indicada en el Cartel de Licitación del proyecto.
- Laboratorio de verificación y control de calidad: Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los rangos de la especificación indicada en el Cartel de Licitación del proyecto.

Por lo que es importante que la ingeniería de proyecto analice los datos aportado en este informe por el LanammeUCR, en secciones del proyecto donde se muestreó el material de préstamo es posible observar partículas de suelo de un tamaño mayor al especificado.

**12.2** En relación al material de Subbase se puede observar en los datos analizados de los tres laboratorios involucrados en este estudio que existe una variación importante tanto en los resultados obtenidos como en los parámetros analizados, a saber:

- Los parámetros de plasticidad, porcentaje de caras fracturadas y abrasión, los ensayos realizados por LanammeUCR, muestran que los resultados obtenidos sí se encuentran dentro del valor establecido por la especificación indicada en el Cartel de Licitación del proyecto, caso contrario para el caso del requerimiento granulométrico, CBR e índice de durabilidad donde los resultados del material granular muestran incumplimientos en los límites de las especificaciones.
- En el caso de los ensayos realizados por el laboratorio de verificación de calidad (Cacisa & Euroestudios), muestran que los resultados obtenidos de CBR si se encuentran dentro del valor permitido (al igual que para los datos del Control de Calidad y en contraposición a los resultados del LanammeUCR), no así en el caso del análisis granulométrico y el ensayo de plasticidad donde se muestran incumplimientos en los límites de las especificaciones.
- En relación con los parámetros de plasticidad, CBR, abrasión, porcentaje de caras fracturadas e índice de durabilidad, los ensayos realizados por el laboratorio de control de calidad (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos), muestran que los resultados obtenidos sí se encuentran dentro del valor establecido por la especificación indicada en el Cartel de Licitación del proyecto.

- 12.3** Con respecto a los valores de resistencia a la compresión de las muestras ensayadas por los tres laboratorios analizados en este estudio se puede decir que en general se tienen resultados de resistencia a la compresión por encima del valor promedio establecido de  $40 \text{ kg/cm}^2$  (límite promedio).
- LanammeUCR: Los resultados de base estabilizada BE-35 son en general mayores al promedio establecido en el Cartel de Licitación ( $40 \text{ kg/cm}^2$ ) y uno de ellos menor al valor establecido como mínimo ( $30 \text{ kg/cm}^2$ ).
  - La mayoría de los resultados de la resistencia a la compresión de las muestras de base estabilizada BE-35 ensayadas por el laboratorio de verificación de calidad (Cacisa & Euroestudios) se hallan por encima del promedio de  $40 \text{ kg/cm}^2$  establecido en el Cartel de Licitación, determinando un promedio general de  $58,8 \text{ kg/cm}^2$  para el grupo de datos en estudio, lo que resulta en un aumento de aproximadamente  $20 \text{ kg/cm}^2$  en la resistencia promedio requerida.
  - En el caso de los datos de resistencia a la compresión presentados por el laboratorio de control de calidad (L.G.C Ingeniería en Pavimentos) la mayoría de los resultados están por encima del promedio de  $40 \text{ kg/cm}^2$  establecido en el Cartel de Licitación, con un promedio de  $53,3 \text{ kg/cm}^2$  para el grupo de datos en estudio lo que resulta en un aumento de casi  $13 \text{ kg/cm}^2$  en la resistencia promedio requerida.

Altas resistencia a la compresión de la capa de base estabilizada podría provocar agrietamiento en esta capa. Cabe recalcar que la literatura señala que para valores altos resistencias 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.

**12.4** 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 muestran la variabilidad del proceso, permitiendo establecer la probabilidad de que el material no cumpla con el nivel de calidad establecido por las especificaciones como resultado de la variabilidad inherente del proceso.

**12.5** Durante el periodo de estudio se midió el perfil longitudinal de secciones del proyecto finalizadas a nivel de la capa de base estabilizada, con la finalidad de proporcionar una magnitud de la regularidad de la superficie lo que permitió calcular el índice de regularidad internacional (IRI) en una base de medición de 200 metros. El valor del IRI característico promedio de estas secciones es de  $5,0 \text{ m/km}$  cada 200 m.

### 13. RECOMENDACIONES

Le corresponde a la Administración definir e implementar las medidas correctivas y preventivas pertinentes, que contribuyan 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 Velar que se controle el parámetro del índice de regularidad superficial (IRI) en su etapa de construcción desde las capas inferiores, en vista que estas contribuyen de manera directa con la calidad del proyecto y de la superficie de ruedo específicamente.
- 1.3 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

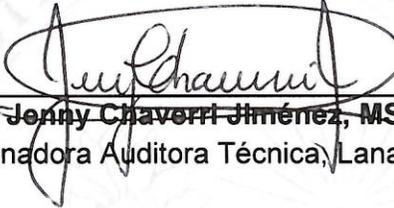


**Ing. Francisco Fonseca Chaves.**  
Auditor Técnico, LanammeUCR



**Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo.**  
Auditora Técnica, LanammeUCR

**Aprobado por:**



**Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.**  
Coordinadora Auditora Técnica, LanammeUCR

**Aprobado por:**



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

**Visto bueno de legalidad**



**Lic. Miguel Chacón Alvarado.**  
Asesor Legal LanammeUCR



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos



PROGRAMA DE  
INFRAESTRUCTURA DEL  
TRANSPORTE

Informe Final  
LM-PI-AT-047-13

# ANEXO 1

## Oficio LM-IC-D-0553-2013





Laboratorio Nacional de Materiales y  
Modelos Estructurales

PARA RECIBIR

13 de mayo de 2013  
LM-IC-D-0553-13

Roxana Soto Muñoz

**Ing. Pedro Luis Castro Fernández, Ph.D.**  
**Ministro**  
**Ministerio de Obras Públicas y Transportes**



Estimado Ingeniero:

De conformidad con lo dispuesto en el inciso b) del artículo 6 de la Ley 8114 y su reforma mediante la Ley 8603, referente a la materia de auditoría técnica que le compete al LanammeUCR, nos permitimos manifestarle que como complemento al proceso de auditoría técnica que el LanammeUCR está realizando al proyecto vial "**Proyecto Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, Sección Cañas-Liberia**", Licitación LPI No. 2012LI-000005-0DE00" y con el propósito de contribuir al mejoramiento continuo de la gestión de la Administración, por este medio le informamos sobre el resultado del valor de Índice de Regularidad Superficial (IRI) medido y calculado por el Laboratorio de Campo del LanammeUCR, en compañía de auditores de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, en secciones del material de Base Estabilizada (BE) colocado en el proyecto en mención.

Cabe señalar que estos resultados fueron informados de manera preliminar a la Unidad Ejecutora del proyecto previo a la colocación de la losa de concreto sobre la base estabilizada con cemento.

Asimismo, "Es importante aclarar que la medición del IRI por parte de la Auditoría Técnica dentro del proceso de fiscalización, no tiene como finalidad cumplir la función del autocontrol ni la verificación de calidad, por lo que la información aportada no constituye un dictamen final de la calidad, sino un insumo para que la Administración analice los resultados obtenidos por el LanammeUCR y tenga una referencia en el orden de magnitud de los parámetros analizados."



**Sobre el resultado del índice de regularidad internacional IRI en secciones de base estabilizada del proyecto.**

A continuación se presenta la Tabla 1, con el valor del IRI característico por tramo del proyecto donde se realizó el cálculo del índice de regularidad internacional IRI en la capa de base estabilizada. Cabe recalcar que este parámetro se calculó utilizando la base de medición de 200 m, indicada en el Cartel de Licitación del proyecto en la *Sección VI. Requisitos de las obras "Control de Regularidad"* para el pavimento de concreto.

**Tabla 1.** Datos de IRI característico en la capa de base estabilizada de secciones del proyecto

Estacionamiento		Lado	Longitud del Tramo (m)	Desviación estándar	IRI (m/km) característico
196+500	198+870	Derecho	2430	0.4	3.7
198+870	196+500	Derecho	2400	0.4	3.8
199+430	200+050	Derecho	556	0.5	3.7
200+050	199+430	Derecho	575	0.2	3.8
200+310	200+665	Derecho	310	0.1	5.0
200+665	200+310	Derecho	335	0.1	5.0
201+780	202+410	Derecho	500	0.7	4.5
203+640	204+100	Izquierdo	390	0.6	6.1
204+100	203+645	Derecho	365	0.8	7.0
205+030	205+670	Derecho	550	0.5	5.9
206+600	208+340	Derecho	1145	0.4	5.1
208+340	206+600	Derecho	1165	1.0	4.8
208+540	211+100	Derecho	3410	1.2	6.0
212+074	208+540	Derecho	3415	1.4	5.8
211+300	212+000	Izquierda	590	0.4	4.7
212+000	211+300	Izquierda	610	0.6	5.0

En el Anexo 1, se presentan de manera esquemática los gráficos con los datos individuales de IRI (m/km) para cada sección del proyecto de base estabilizada evaluadas, con base de medición de 5 o 10 m/km, con el objetivo de apreciar el comportamiento detallado del tramo en estudio.

En la Tabla 1 se puede observar que los valores de IRI característico cada 200 m calculados en las secciones indicadas rondan los valores de 3.7 a 7.0 m/km en la capa de la base estabilizada, cabe mencionar que el valor de la capa final del pavimento de



Laboratorio Nacional de Materiales y  
Modelos Estructurales

concreto, de acuerdo al Cartel de Licitación debe ser de 2,0 m/km en el caso de los valores individuales y menor a 1,5 m/km para el promedio consecutivo de cinco tramos.

Cabe recalcar que la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en intervalos de 200 m se utiliza generalmente para realizar una evaluación a nivel de red vial, en la que no se requiere de mediciones detalladas, y las cuales se utilizan para programar intervenciones de mantenimiento o de reconstrucción y definir prioridades sin entrar en detalle.

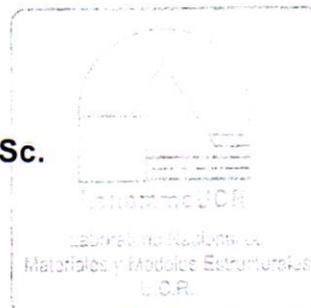
Se recomienda a la Unidad Ejecutora de este proyecto velar que se controle este parámetro en su etapa de construcción desde las capas inferiores, en vista que estas contribuyen de manera directa con la calidad del proyecto y de la superficie de rueda específicamente.

Manejar índices de regularidad bajos garantiza una inversión más efectiva de los recursos en la construcción de obra nueva, ya que niveles de IRI iniciales más bajos se traducen en una mayor vida útil, costos anuales de mantenimiento y costos de operación de los vehículos más bajos, confort y seguridad, lo cual redundará en un beneficio para los usuarios de las vías de este país.

Del mismo modo, le informamos el estado del IRI de la base estabilizada con cemento de estas secciones para que se tomen las acciones correctivas necesarias en la totalidad del proyecto para el cumplimiento de las especificaciones cartelarias establecidas.

Sin otro particular, se despide,

**Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.**  
**Director Lanamme UCR**



cc:

Ing. Jose Luis Salas Quesada, Director Ejecutivo, CONAVI

Ing. Kenneth Solano Carmona, Director Unidad Ejecutora PIV-I

Ing. Enrique Obed Sánchez Marín

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD, Coordinador PITRA, LanammeUCR

Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc, Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica, LanammeUCR.

Consejo de Administración de CONAVI

archivo UAT, E/AH



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
Universidad de Costa Rica

ECA

Laboratorio de ensayo  
Alcance de Acreditación Nº LE-018  
Acreditado a partir de: 11.11.2002  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

No. de informe: I-0323-13

## Informe de Ensayo

RC-80 v.04 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST-0269 -13

### 1. Información del cliente:

**Nombre:** Unidad de Auditoría Técnica  
Ing. Víctor Cervantes

**Proyecto:** Cañas-Liberia (Tramos en Base Estabilizada)

**Domicilio:** San Pedro de Montes de Oca. 400 m. al norte del Centro Comercial Muñoz & Nanne, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME). Universidad de Costa Rica, Finca 2.

### 2. Método de ensayo:

Determinación del perfil longitudinal. **Procedimiento de ensayo según ASTM E 1170 y ASTM E 950.(\*\*)**

(\*) Ensayo acreditado. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

(\*\*) Ensayo no acreditado.

### 3. Información del muestreo o evaluación:

**No. de identificación de la muestra:** No aplica

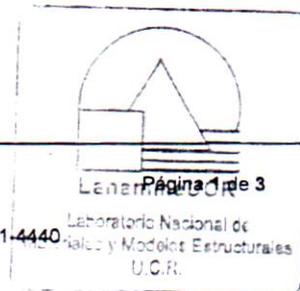
#### **Descripción:**

La evaluación se realizó sobre la ruta 1, se evaluaron 16 tramos en Base Estabilizada definidos por el cliente. (Ver Mapa 1).

Se registró los datos cada 10 m.

Equipo utilizado: DYNATEST 5051 MARK IV RSP SYSTEM (PL-002)

**Nota:** Se adjunta un CD con la información y las tablas.



No. de informe: I-0323-13

**Realizado por:**

Francisco González, Técnico LanammeUCR  
 Greivin Ceciliano, Técnico LanammeUCR

**Fecha de realización del ensayo:**

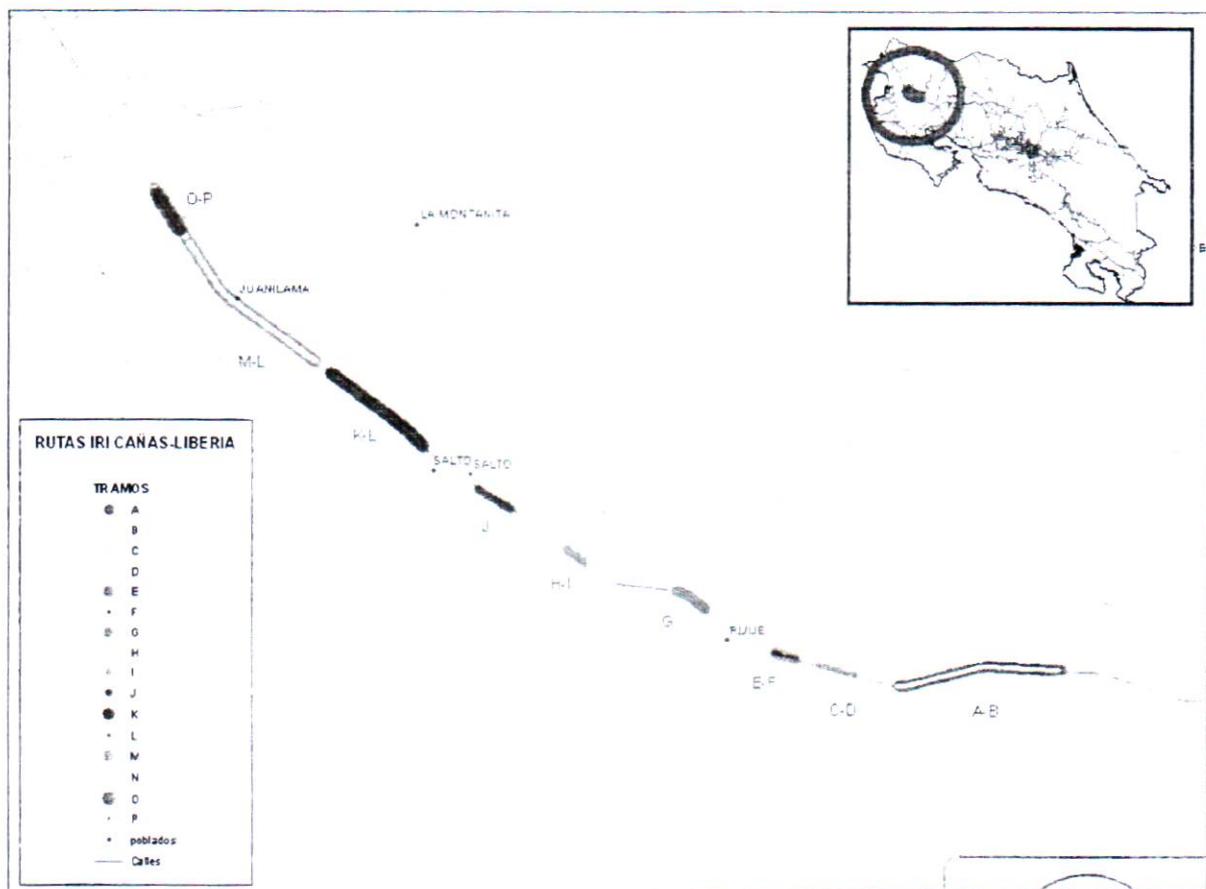
2013-02-28

**Condiciones Ambientales:**

No aplica

**4. Resultados:**

Universidad de Costa Rica  
 Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
 Mapa N°1. Ubicación de las rutas evaluadas. Cañas-Liberia





Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
Universidad de Costa Rica

ECA

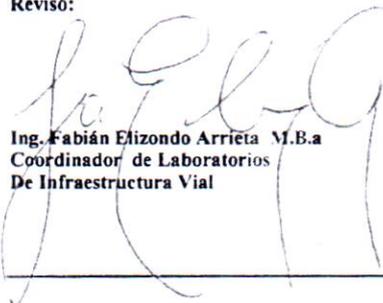
Laboratorio de ensayo  
Alcance de Acreditación N° LE-018  
Acreditado a partir de: 11.11.2002  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

No. de informe: I-0323-13

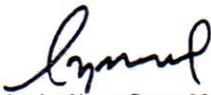
**Aclaraciones:**

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para la(s) muestra(s) indicada(s) en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Revisó:

  
Ing. Fabián Elizondo Arrieta M.B.a  
Coordinador de Laboratorios  
De Infraestructura Vial

Aprobó:

  
Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.  
Director LanammeUCR

