



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-066-13

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

PERIODO DE MUESTREO: ABRIL A JUNIO 2013

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



Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica



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

San José, Costa Rica
Enero 2014

1. Informe Final Informe de Auditoría Técnica LM-PI-AT-066-13	2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: 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.	4. Fecha del Informe Enero 2014	
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias --**--		
9. Resumen <p><u>Calidad del material de préstamo colocado en el proyecto:</u> Los resultados de material granular de préstamo para muestras ensayadas por el LanammeUCR muestran porcentajes por encima del valor permitido en la granulometría (malla 3"). En el caso del laboratorio de verificación de calidad (Consortio CACISA & 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><u>Calidad del material de subbase colocado en el proyecto:</u> Los resultados de material granular de subbase presentan valores por debajo del límite establecido en la Malla 1½" para los tres laboratorios en estudio.</p> <p><u>Calidad del material de base estabilizada colocado en el proyecto:</u> 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. En el caso del laboratorio de verificación de calidad (Cacisa & Euroestudios) están por encima del promedio establecido en el Cartel de Licitación, con un promedio de 55.9 kg/cm² para el grupo de datos en estudio lo que resulta en un aumento de casi 16 kg/cm² 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 55.6 kg/cm² para el grupo de datos en estudio lo que resulta en un aumento de casi 16 kg/cm² en la resistencia promedio requerida.</p> <p><u>Calidad del concreto para pavimento rígido:</u> Los resultados del concreto para la superficie de ruedo presentan valores dentro de los límites establecido para los parámetros de temperatura, revenimiento y resistencia a la flexotracción para los tres laboratorios en estudio.</p> <p><u>Resultados de medición del índice de regularidad internacional (IRI) sobre secciones de Base Estabilizada:</u> El valor del índice de regularidad internacional (IRI) característico promedio calculado en secciones del proyecto a nivel de base estabilizada es de 3,5m/km con una base de medición de 200 metros.</p> <p><u>Resultados de medición del índice de regularidad internacional (IRI) sobre secciones de Pavimento Rígido:</u> El valor del índice de regularidad internacional (IRI) calculado en secciones del proyecto para secciones de la losa de concreto presenta en general valores mayores a los requeridos por la especificación tanto para valores individuales como para el promedio de cinco datos (media móvil).</p>		
10. Palabras clave Material de Préstamo, Material de Subbase, Graduación B, Material de Base Estabilizada, Pavimento de Concreto, Resistencia, Relleno, Granulometría, IRI.	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 72



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

Coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica PITRA-LanammeUCR

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc

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

Ing. Luís Guillermo Loría Salazar, PhD

Audidores:

Ing. Víctor Cervantes Calvo, Auditor Técnico Líder

Ing. Francisco Fonseca Chaves, Auditor Técnico Adjunto

Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo, Auditora Técnica Adjunta

Asesor Legal :

Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

El alcance de esta Auditoría Técnica se centró en la evaluación de la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y concreto del pavimento rígido en el proyecto, para el periodo de muestreo de Abril a Junio de 2013.

Referencias:

- Informes de laboratorio: I-0411-13,I-0517-13,I-0555-13,I-0567-13,I-0610-13,I-0625-13,I-0656-13,I-0656-13,I-0666-13,I-0672-13,I-0715-13,I-0753-13,I-0757-13,I-0766-13,I-0837-13,I-0901-13,I-0538-13,I-0614-13,I-0648-13, I-0649-13,I-06723-13,I-0806-13,I-0609-13

TABLA DE CONTENIDOS

1. Fundamentación	8
2. Objetivo de la auditoría técnica.....	8
3. Descripción del proyecto y ubicación	10
4. Antecedentes	12
5. Metodología de la auditoría técnica.....	13
6. Alcance de la auditoría técnica	16
7. Responsables del proyecto	16
8. Integrantes del equipo de auditoría técnica del lanammeucr	17
9. Marco teorico	17
9.1 Valoración estadística de la calidad del trabajo realizado.....	17
9.2 Conceptos básicos sobre estabilización o mejoramiento de bases.....	18
9.3 Aspectos relacionados con la resistencia a la compresión de la base estabilizada	20
9.4 Bases en pavimentos de concreto	22
10. Observaciones de la auditoría técnica externa	24
10.1 resultados de la auditoría técnica	25
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 (I.g.c ingeniería en pavimentos) y el laboratorio de verificación de calidad (consorcio cacisa & euroestudios)	25
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 (I.g.c ingeniería en pavimentos) y el laboratorio de verificación de calidad (consorcio cacisa & euroestudios)	32
C. Sobre los resultados del material utilizado como capa de base estabilizada de acuerdo a los datos obtenidos de las muestras ensayado por el lanammeucr, laboratorio de control de calidad (I.g.c ingeniería en pavimentos) y el laboratorio de verificación de calidad (consorcio cacisa & euroestudios)	38
D. Sobre los resultados del concreto utilizado como pavimento rígido de acuerdo a los datos obtenidos de las muestras ensayadas por el lanammeucr, laboratorio de control de calidad (I.g.c ingeniería en pavimentos) y el laboratorio de verificación de calidad (consorcio cacisa & euroestudios)	50
E. Sobre el resultado del índice de regularidad internacional iri en secciones de base estabilizada y pavimento rígido del proyecto.....	57

10. Conclusiones	67
Anexo 1	71
Anexo 2	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 resumen de puntos de muestreo realizados por el laboratorio de infraestructura civil del lanammeucr, para material de préstamo.....	14
Tabla 2. Secciones de la capa de base estabilizada del proyecto donde se midió el perfil longitudinal. Informe i-0609-13.....	15
Tabla 3. Secciones de la capa del pavimento de concreto del proyecto donde se midió el perfil longitudinal. Informe i-0609-13	15
Tabla 4. tipos de agrietamiento asociados a la resistencia a la compresión a los 7 días.....	21
tabla 5. Resultados de ensayos de granulometría, plasticidad y cbr para las muestras del material colocado como préstamo, en algunas secciones del proyecto cañas-liberia, lanammeucr	27
Tabla 6. Análisis estadístico del porcentaje de trabajo fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el lanammeucr provenientes del material de préstamo.....	28
Tabla 7. Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el laboratorio de verificación de calidad del material de préstamo.....	30
Tabla 8. 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.....	31
Tabla 9. Resultados de ensayos para muestras del material colocado como subbase en el proyecto cañas-liberia, lanammeucr.	34
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.	36
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.	37
Tabla 12. Resultados de ensayos para las 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.	45
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.....	49
Tabla 16. Resultados de ensayos para muestras de concreto del pavimento en el proyecto cañas-liberia, lanammeucr.	51
Tabla 17. Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras de concreto para pavimento rígido ensayadas por el laboratorio de verificación de calidad.....	53
Tabla 18.análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados y factor de pago en función de la calidad para las muestras de concreto para pavimento rígido ensayadas por el laboratorio de control de calidad.....	55
Tabla 19. Datos de iri característico en la capa de base estabilizada de secciones del proyecto.	58
Tabla 20. Análisis de resultados de iri (m/km) según especificación cartelaria, sección 206+600 al 206+890	61
Tabla 21. Análisis de resultados de iri (m/km) según especificación cartelaria, sección 207+081 al 208+281	63
Tabla 22. Análisis de resultados de iri (m/km) según especificación cartelaria, sección 208+312 al 209+512.....	65

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/cm² 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/cm² 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, BASE ESTABLIZADA Y CONCRETO DEL PAVIMENTO RÍGIDO DEL PROYECTO DE AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO. 1, CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, SECCIÓN CAÑAS-LIBERIA.”

LPI NO. 2011LI-000004-0DI00.

PERIODO DE MUESTREO: ABRIL A JUNIO DE 2013

1. FUNDAMENTACIÓN

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

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

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

2. OBJETIVO DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

El objetivo de esta Auditoría Técnica realizada en el proyecto “Mejoramiento de la Ruta Nacional No.1, sección Cañas-Liberia”, es dar a conocer a la Administración, desde el punto de vista externo y constructivo, situaciones derivadas del análisis, con relación a la calidad de los materiales colocados en el proyecto específicamente el material de préstamo, subbase, base estabilizada y el concreto del pavimento, observados durante las diferentes visitas realizadas por el equipo de Auditoría Técnica al sitio. Adicionalmente se realizaron mediciones para calcular el índice de regularidad internacional (IRI) en secciones de la capa de base estabilizada colocada en el proyecto y secciones de pavimento rígido terminado, esto con el propósito de conocer la regularidad de la superficie de estas capas. Cabe destacar que la medición de dicho parámetro en la base estabilizada 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, caso contrario del pavimento de concreto que si tiene especificación cartelaria.

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

El presente informe tiene como objetivo realizar un análisis de los aspectos importantes en torno a la calidad de los materiales y específicamente, la calidad del material de préstamo, subbase, base estabilizada y el concreto del pavimento en el proyecto, en miras de la recepción definitiva del mismo. Además de brindar información sobre la regularidad superficial (IRI) en secciones de la capa de base estabilizada y la superficie de ruedo del proyecto (losa de concreto).

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

Las actividades que fueron desarrolladas por el equipo de Auditoría Técnica consistieron en visitar los diversos frentes de trabajo y hacer una revisión de los documentos contractuales relacionados con el proyecto, así como programar muestreos a los materiales. Para la emisión de este informe también se consideraron los resultados de ensayos de los laboratorios de control y verificación de la calidad del proyecto.

Se realizaron visitas de campo los días 08 de abril, 16, 17, 20 y 30 de mayo y 06, 12, 13, 24 y 25 de junio de 2013 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, base estabilizada y el concreto de la losa, el día 29 de mayo de 2013 se realizó la medición de IRI tanto de las secciones de base estabilizada como pavimento de concreto. 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.



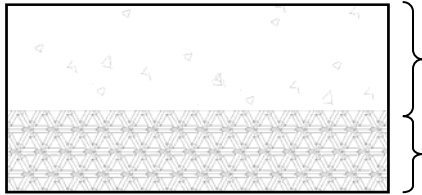
Figura 1. Ubicación del proyecto sobre la Ruta Nacional N°1, sección: Cañas-Liberia

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 con una base estabilizada con cemento BE-35 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.

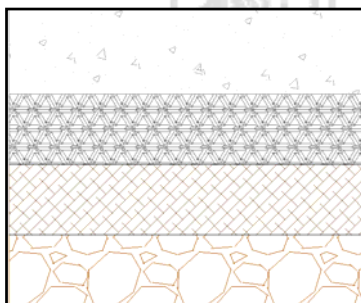


Losa de concreto hidráulico (e=25cm)

Base estabilizada BE-35 con material recuperado (e=20cm)

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.



Losa de concreto hidráulico (e=25cm)

Base estabilizada BE-35 (e=20cm)

Sub base Graduación B (e=20cm)

Material de préstamo para acabado caso 2 (e=20cm)

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

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

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-000004-0DI00".

Luego se emitió el 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.

Posteriormente se emitió el informe LM-PI-AT-047-13 "*Análisis de la calidad del material de préstamo, subbase y base estabilizada. del periodo de muestreo: enero a marzo 2013 del proyecto: ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas-Liberia. LPI No. 2011LI-000004-0DI00"*, el cual se emitió en agosto del 2013.

Antes de la emisión de este informe se comunicó a la Administración mediante los oficios LM-IC-D-0842-13 y LM-IC-D-0843-13 del 24 y 29 de julio 2013, respectivamente, los resultados de las mediciones de IRI en las secciones de la base estabilizada del proyecto se incluyeron en el primero de estos oficios, y posteriormente en el segundo, se comunicó el resultado de las mediciones y análisis realizados para las secciones del pavimento de concreto.

Es importante mencionar que durante el proceso de redacción de este informe se recibió el oficio UE-883-2013 donde el Ing. Enrique Obed Sánchez (Gerente de Carreteras de la Unidad Ejecutora PIV-1), hace referencia al oficio 2023-294-SCL del Consorcio Supervisor en relación al tema de la medición y análisis del índice de regularidad internacional (IRI) realizado en el oficio LM-IC-D-0843-13. Al respecto se analiza el contenido del oficio en

mención y considerado los aspectos de relevancia, se procede a emitir el presente informe LM-PI-AT-066B-13 en su versión preliminar.

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 a los diferentes materiales 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-0567-13	17/05/2013	192+320	1098-13	Préstamo
I-0610-13	30/05/2013	192+320	1098-13	
I-0656-13	30/05/2013	210+280	1236-13	
I-0672-13	30/05/2013	192+320	1098-13	
I-0753-13	30/05/2013	191+630	1238-13	
I-0757-13	12/06/2013	186+200	1336-13	
I-0766-13	12/06/2013	186+200	1336-13	
I-0837-13	25/06/2013	192+475	1494-13	
I-0901-13	25/06/2013	202+070	1495-13	
I-0715-13	30/04/2013	191+200	0937-13	Subbase Graduación B
I-0656-13	30/05/2013	192+554	1237-13	
I-0837-13	26/06/2013	199+350	1492-13	
I-0901-13	26/06/2013	185+550	1493-13	Base Estabilizada BE-35
I-0517-13	16/05/2013	204+645	1096-13	
I-0625-13	30/05/2013	167+420	1234-13	
I-0901-13	26/06/2013	199+325	1490-13	
		184+700	1491-13	
I-0614-13	16/05/2013	209+801	1154-13	Concreto
I-0649-13	13/06/2013	191+576	1358-13	
I-0806-13	25/06/2013	193+251	1498-13	

Adicional a los muestreos de materiales el día 29 de mayo 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 y sobre secciones terminadas del pavimento rígido. Estos datos se utilizaron para calcular el Índice de Regularidad Internacional (IRI) en dichos segmentos de la capas mencionadas.

Tabla 2. Secciones de la capa de base estabilizada del proyecto donde se midió el perfil longitudinal. Informe I-0609-13

Estacionamiento		Lado	Longitud del Tramo
204+350	204+650	ambos	300
195+260	195+935	ambos	675
194+960	195+785	ambos	825
190+840	192+385	ambos	1545
190+170	190+935	ambos	765
187+180	188+600	ambos	1420
186+720	187+120	ambos	400
182+400	183+430	ambos	1030
182+830	183+643	ambos	813
180+200	180+976	ambos	776
180+180	180+920	ambos	740
170+090	170+820	derecho	730

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-0842-2013 del 24 de julio del 2013. En este oficio se presentan los valores calculados de IRI en m/km para los estacionamientos indicados en la tabla anterior.

Tabla 3. Secciones de la capa del pavimento de concreto del proyecto donde se midió el perfil longitudinal. Informe I-0609-13

Estacionamiento		Lado	Longitud del Tramo (m)
206+600	206+890	Derecho e izquierdo	290
207+081	208+291	Derecho	1210
208+312	209+538	Derecho	1226

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-0843-2013 del 29 de julio 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, base estabilizada y del concreto para el pavimento del proyecto de ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, sección: Cañas-Liberia en el periodo de muestreo que comprende los meses de abril a junio del 2013. Adicionalmente, se abarca el tema del cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en secciones de la capa de base estabilizada y pavimento rígido.

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

Por otro lado se reitera que la Auditoría Técnica corresponde a una descripción de los hechos observados en un momento determinado. Es un instrumento específico del proyecto, los datos presentados en los informes emitidos por esta unidad sirven como referencia para que la Administración tome las acciones correctivas respectivas, máxime que el proyecto en cuestión se encuentra en proceso constructivo. La determinación del cumplimiento contractual y corrección de defectos o aplicación de multas corresponde a la Administración.

7. RESPONSABLES DEL PROYECTO

a) Responsables por parte de la Administración:

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

b) Responsables por parte de la empresa constructora:

- Contratista: La empresa Contratista "Consortio FCC-Interamericana Norte", adjudicataria de la Licitación Pública No LPI No. 2011LI-000004-0DI00 Proyecto: Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas-Liberia

- Laboratorio de Autocontrol de Calidad: el consultor de calidad del Contratista y laboratorio de autocontrol es el organismo de ensayo LGC Ingeniería de Pavimentos SA, quien es la empresa encargada de efectuar los ensayos de control de calidad a los materiales y procesos constructivos que realiza el Contratista en este proyecto, así como el diseño de la base estabilizada.

8. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR

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

9. 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_i* 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. (L/3-1)

... *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 emitió el informe LM-PI-PU-0001-12 “Experiencia costarricense en diseño, aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas

* Acorde con el CR-2012, sección 107.05 Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago

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.
- **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.²

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%).

² Portland Cement Association

- **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 rueda.
- **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.

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 40kg/cm^2 , sin que se obtenga valores menores a 30kg/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 40kg/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 kg/cm², 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 la compresión uniaxial a 7 días, se puede estimar cualitativamente, el agrietamiento de las bases estabilizadas con cemento según el siguiente criterio:

Tabla 4. Tipos de agrietamiento asociados a la resistencia a la compresión a los 7 días³.

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

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

*Esta tabla se basa en el criterio profesional del autor y el grupo de revisión del documento.

Cabe destacar que es importante a nivel de normativa nacional establecer este tipo de rangos, esto sustentando en ensayos de laboratorio e investigaciones de campo que permitan validar los resultados establecidos.

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

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.

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 congelante⁴
- 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:

⁴ No aplica en el caso de Costa Rica

- **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. 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 es 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 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 evacue 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 base se han utilizado ampliamente en pavimentos rígidos

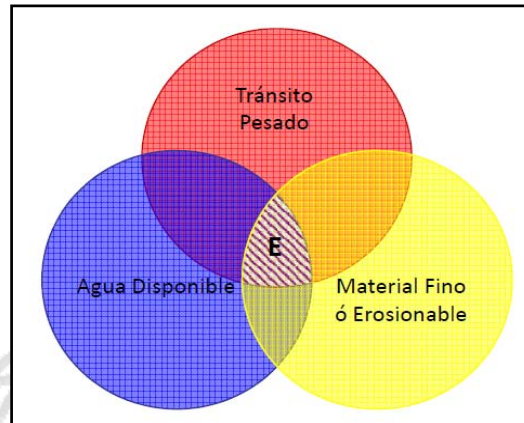


Figura 1. Factores importantes de considerar en el diseño de una Base Estabilizada

Cabe recalcar que cuando en un pavimento determinado se prevea la eventual coexistencia de los factores indicados anteriormente en la figura (Ver Figura 1), el empleo de una base no erosionable es de carácter obligatorio.

10. OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Todas las observaciones declaradas 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.

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. En particular en este informe de Auditoría Técnica, aunque se tratan temas donde se hace alusión a documentos técnicos y/o legales de orden contractual, ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento, se clasifican como observación, debido a la restricción que tiene la auditoría en el número de muestras analizadas en los diferentes aspectos analizados en el presente informe.

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

10.1 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.

Para desarrollar esta sección del informe se toma como base el Cartel de Licitación Pública LPI No. 2011LI-000004-0DI00, y el CR-2010 con especial atención la sección 107.05 "Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor del trabajo)", ya que en esta sección del Cartel 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.

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:

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

Este renglón de pago corresponde al suministro, colocación y compactación del material que satisfaga las especificaciones establecidas. Su pago será por metro cúbico (m³), 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 esta auditoría no realizó este análisis, en su lugar se realizó una valoración estadística del "Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)" utilizando la metodología establecida en la sección 107.05 del CR-2010.

Observación 1: Los resultados de granulometría del material granular de préstamo para las muestras ensayadas por el LanammeUCR exceden 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 en el proyecto y ensayado por los laboratorios del LanammeUCR, en el período de abril a junio del 2013, presentados en la Tabla 5 se observa que los valores obtenidos para plasticidad y CBR se encuentran dentro de 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 se encuentra dentro de la condición establecida, ya que el porcentaje de material pasando la malla No 3" es inferior al 100% especificado.

Tabla 5. Resultados de ensayos de granulometría, plasticidad y CBR para las muestras del material colocado como préstamo, en algunas secciones del proyecto Cañas-Liberia, LanammeUCR

Información General Material de préstamo				Malla	Plasticidad		Valor de Soporte (CBR) *	
Informe	Muestra	Estacionamiento	Fecha	3"	LL	IP	0,1"	0,2"
I-0567-13	1098-13	192+320 CI	17/05/2013	100				
I-0610-13					NP	NP		
I-0672-13							18,9	21,9
I-0656-13	1236-13	2010+280CI	30/05/2013	100				
	1238-13	191+630CD	30/05/2013					
I-0753-13	1236-13	210+280	30/05/2013		NP	NP	40,6	46,3
	1238-13	191+630			NP	NP	89,8	86,1
I-0757-13	1336-13	186+200	12/06/2013	100				
I-0766-13	1336-13	186+200CD	12/06/2013		NP	NP	18,1	21,0
I-0837-13/I-0901-13	1494-13	192+475	25/06/2013	98,5	NP	NP	12,5	19,0
I-0837-13/I-0901-13	1495-13	202+070	25/06/2013	97,1	NP	NP	13,0	17,0

Ensayos con los que se cuenta al momento de emisión del informe preliminar
*igual o mayor a 10% compactado al 95 % del AASHTO T-99

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 del 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) para los parámetros en estudio expresado en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6. 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	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Pasando la malla de 76,2 mm	100%	5	73,88	50,00
Límite Líquido (LL)	Máximo 30 %	6	-	50,00
Índice plástico (IP)	Máximo 7 %	6	-	50,00
Valor de soporte CBR	mayor de 10 %	6	12,515	50,00

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 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 107-1 y 107-2 de la sección 107.05 del CR-2010 donde describe el análisis estadístico, se cuenta justamente con la cantidad mínima de datos establecida por la especificación para realizar el análisis estadístico descrito, pese a esto la Auditoría Técnica considera recomendable la aplicación de una valoración estadística para informar a la Administración sobre los resultados obtenidos por esta Auditoría Técnica, y la variabilidad del proceso, ya que en comparación con el control o verificación de la calidad los datos analizados en la tabla 6, son reducidos.

Al igual que en el caso presentado en el informe LM-PI-AT-047-13, se aprecia en los resultados obtenidos que el material de préstamo presenta un porcentaje menor al especificado para la malla de 3", siendo un indicativo que cierta cantidad de material fue retenido en esta malla. En las siguientes fotografías se ilustra el proceso del muestreo de material de préstamo que se llevó a cabo el día 16 de mayo del 2013 en el estacionamiento 192+320, es importante destacar de estas fotografías dos elementos importantes.

El primero de ellos está relacionado con la metodología de muestreo, ya que el material es obtenido en campo en el sitio de colocación considerando la condición de compactación resultante de la capa en estudio, tal y como se observa en la Fotografía 1, correspondiente al material del estacionamiento 192+320.



Fotografías 1 y 2. Muestreo de material de préstamo del proyecto Cañas-Liberia el día 16/05/2013 estacionamiento 192+320.

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 colocado y compactado en campo) se observan partículas de tamaño mayor a la malla de 76,2 mm. Es por esta razón que en la Tabla 6 se obtiene un porcentaje estimado de trabajo fuera de los límites, mayor al requerido en la especificación cartelaria. También en la Tabla 5 se observan porcentajes pasando la malla de 76,2 mm (3") menores al requerido de 100%, que indican material retenido en esta malla.

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), pulverizar el material con energía o cualquier otro mecanismo que permita cambiar las propiedades del mismo, perdiendo la representatividad del material que se colocó en campo.

Observación 2: Los resultados de material granular de préstamo reportados 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) 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 presentarán los datos del laboratorio de Control de Calidad (L.G.C. Ingeniería en pavimentos) facilitados por la Administración en ambos casos.

- **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.

En la Tabla 7, se puede observar que los resultados de los ensayos realizados al material de préstamo se encuentran acorde con los límites establecidos por las especificaciones técnicas del 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 (Consorcio 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 Tabla 7.

Tabla 7. 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	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Pasando la malla de 76,2 mm	100%	12	0,00	44,025
Límite líquido	Máximo 30 %	-	-	-
Índice plástico	Máximo 7 %	-	-	-
Valor de soporte CBR	mayor de 10 %	11	14,65	43,365

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

Tal y como se puede observar en la Tabla 7, los resultados de ensayos realizados por el Laboratorio de Verificación analizados en este informe de Auditoría Técnica, se encuentra dentro de los lineamientos de las especificaciones establecidas en el Cartel de Licitación del proyecto. Lo anterior 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 esta sección como aceptable (Tabla 107-

2) para una muestra de 12 ensayos en el caso del análisis granulométrico y de 43,365% para una muestra de 11 ensayos 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.

Del análisis se puede determinar que los resultados de los ensayos realizados al material indicado se encuentran dentro de los lineamientos de 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 8.

Tabla 8. 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	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Pasando la malla de 76,2 mm	100%	31	0,00	36,412
Límite líquido	Máximo 30 %	-	-	-
Índice plástico	Máximo 7 %	-	-	-
Valor de soporte CBR	mayor de 10 %	12	3,718	44,025

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

Tal y como se puede observar en la Tabla 8, los resultados del material analizado en este informe de Auditoría Técnica, están dentro de los rangos especificados en dicha sección, 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 es menor al 36,412% establecido en la Tabla 107-2 del CR-2010 para un tamaño de muestra de 31 resultados de ensayo en el caso de análisis granulométrico y de 44,025% en el caso del CBR para un tamaño de muestra de 12 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 la especificación cartelaria.

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)

Para desarrollar esta sección del informe se toma como base el Cartel de Licitación Pública LPI No. 2011LI-000004-0DI00, y la metodología de análisis estadístico para determinar cumplimiento de especificaciones que se describe en la sección "*Pago de obra ejecutada en función de la calidad*".

En el Cartel de Licitación Sección VI. "Requisitos de obra" se especifican las características para 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 miín

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)

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 no realizó el análisis correspondiente a determinar el factor de pago. Sin embargo, si se utiliza la metodología indicada en la sección 107.05 del CR-2010, para realizar un análisis estadístico con relación a las especificaciones.

Observación 3: Los resultados del material granular de subbase para algunas de las 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 abril a junio del 2013, presentados en la Tabla 9 se observa que los valores obtenidos para los distintos parámetros si s encuentra delimitados por los rangos de especificación establecidos en el Cartel de Licitación del proyecto en estudio, a excepción de un resultado de la granulometría en la malla de 1½".

Posteriormente 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 existe un punto que se sale de los límites especificados, en el CR-2010 para una subbase graduación B (indicada en el Cartel).

Es importante señalar que 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, para todos los parámetros estudiados.

Tabla 9. Resultados de ensayos para muestras del material colocado como subbase en el proyecto Cañas-Liberia, LanammeUCR.

Información General		Granulometría				Plasticidad		CBR		Caras fracturadas	Índice de durabilidad		Abrasión
Parámetro		2"	1 1/2"	No 4	No 200	LL	IP	0,1"	0,2"	Porcentaje (%)	Grueso	Fino	%
Especificación		100	97-100	40-60	4-12	≤25%	≤4	≥30	≥30	≥50%	≥35	≥35	≤50%
Muestra	Fecha												
1237-13	30/05/2013	100	100	56	9,91					100,0	58,9	43,7	30,0
1492-13	26/06/2013	100	94	52,4	12,3					100,0	42,5	45,7	42,2
1493-13	26/06/2013	100	100	54,7	9,41	NP	NP			100,0	50,3	50,0	26,9
0937-13	30/04/2013					NP	NP	30,9	40,6				

Ensayos con los que se cuenta al momento de emisión del informe preliminar

*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.

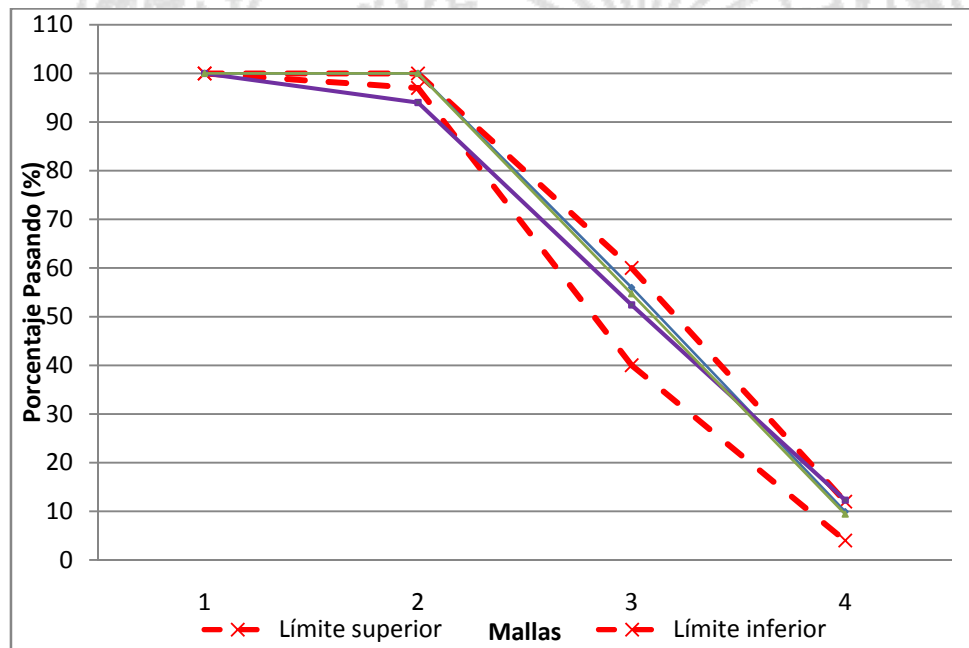


Gráfico 1. Análisis granulométrico para el material de la subbase para los estacionamientos estudiados del proyecto, según datos de LanammeUCR

De acuerdo a lo dispuesto en la Tabla 107-2 de la sección 107.05 del CR-2010 no se cuenta con la suficiente cantidad de datos para realizar el análisis estadístico establecido en el cartel para los ensayos establecidos, ya que se requieren al menos 4 datos.

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: Ciertos resultados de la composición granulométrica del material granular de subbase 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) 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.

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

A continuación se analizan los resultados de los ensayos realizados por el laboratorio de verificación de calidad (laboratorio de verificación Consortio CACISA & Euroestudios) al material de subbase.

A partir del análisis mostrado en la Tabla 10 se puede observar que los resultados de los ensayos realizados de CBR se encuentran dentro de las especificaciones técnicas establecidas en el Cartel de Licitación del proyecto en mención, sin embargo para la especificación relacionada con granulometría se observan valores menores a los permitidos en los límites establecidos por la especificación. Cabe destacar que en los ensayos reportados por la verificación de calidad no se presentan ensayos de abrasión, porcentaje de caras fracturadas y durabilidad del agregado fino o grueso.

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 11.

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	Número de muestras (n)	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%	33	0,000	34,630
Pasando la malla 1 ½"	100%-97%	33	55,398	34,630
Pasando la malla No 4	60%-40%	33	17,903	34,630
Pasando la malla No 200	4%-12%	33	5,719	34,630
Límite líquido (LL)	Máximo 25%	-	-	50,000
Índice plástico (IP)	Máximo 4%	-	-	50,000
Valor de soporte CBR	Mín. de 30%	6	6,512	50,000
Caras Fracturadas	Mínimo 50%	-	-	-
Índice de durabilidad agregado grueso	Mínimo 35%	-	-	-
Índice de durabilidad agregado fino	Mínimo 35%	-	-	-
Abrasión	Máximo 50%	-	-	-

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

Tal y como se puede observar en la Tabla 11, el material muestreado por el Laboratorio de Verificación y analizado en este informe de Auditoría Técnica, sobrepasa el valor de las especificaciones establecidas en el Cartel de Licitación del proyecto en cuanto a granulometría, 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 y en comparación con el establecido como aceptable. (Tabla 107-2), para el caso del análisis granulométrico para la malla 1 ½" se puede observar que se tiene un porcentaje fuera de los límites de especificación de 55,398% cuando el valor máximo permitido es de 34,630%.

- **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. Del análisis realizado con los datos reportados (presentado en la Tabla 12) se puede determinar que los resultados de los ensayos realizados se encuentran dentro del límite de las especificaciones técnicas establecidas en el Cartel de Licitación del proyecto en mención, solamente se presentan valores mayores a los permitidos por la especificación en el caso de la malla 1½" en el ensayo granulométrico.

Se aplicó para el análisis estadístico de estos datos la sección 107.05 del CR-2010, esta vez con los resultados de las muestras determinados 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 12.

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	Número de muestras (n)	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%	88	0,000	30,000
Pasando la malla 1 ½"	100%-97%	88	31,330	30,000
Pasando la malla No 4	60%-40%	88	23,648	30,000
Pasando la malla No 200	4%-12%	88	21,377	30,000
Límite líquido (LL)	Máximo 25%	8	0,358	47,450
Índice plástico (IP)	Máximo 4%	8	5,744	47,450
Valor de soporte CBR	Mín. de 30%	13	0,965	43,365
Caras Fracturadas	Mínimo 50%	7	0,139	48,618
Índice de durabilidad agregado grueso	Mínimo 35%	7	20,140	48,618
Índice de durabilidad agregado grueso	Mínimo 35%	7	1,200	48,618
Abrasión	Máximo 50%	7	2,665	48,618

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

Tal y como se puede observar en la Tabla 11, el material muestreado por el Laboratorio de Control de Calidad analizado en este informe de Auditoría Técnica, no se encuentra dentro

de las especificaciones granulométricas 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 y en comparación con el establecido como aceptable. (Tabla 107-2), 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 31,330% cuando el permitido es de 30,000% para una cantidad de ensayos de 88.

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

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:

<i>Tipo de base estabilizada</i>	<i>Resistencia mín. permisible kg/cm²</i>	<i>Resistencia promedio kg/cm²</i>	<i>Tiempo de curado</i>
<i>BE-35</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>7 días</i>

"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:"

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

Adicionalmente el material deberá satisfacer las siguientes especificaciones:

Descripción	Especificación
<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 " 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.

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^2 , 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^2 respectivamente), tal como se ejemplifica en el Gráfico 2.

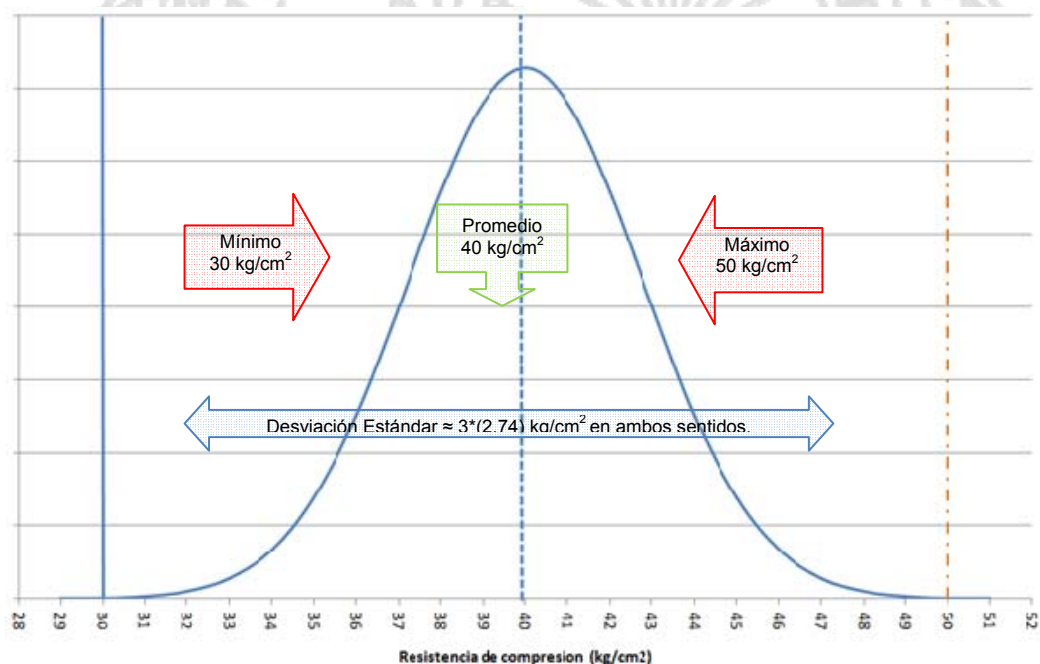


Gráfico 2. Curva de distribución normal, que cumpliría de manera simultánea el valor mínimo y promedio de resistencia a la compresión, para una desviación estándar máxima aceptable para un tamaño de muestra conocido.

Observación 5: Los resultados de resistencia a la compresión de la capa de base estabilizada BE-35 para 4 muestras ensayadas por el LanammeUCR se encuentran dentro de 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 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 uniaxial para el material de base estabilizada muestreado y ensayado por el laboratorio del LanammeUCR, en el proyecto Cañas-Liberia.

Tabla 12. Resultados de ensayos para las 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^2 Promedio 40 kg/cm^2 Máximo inferido 50 kg/cm^2	
I-0517-13	1096-13	204+645	16/05/2013	43,0	0,7
I-0625-13	1234-13	167+420	30/05/2013	61,9	1,3
I-0901-13	1490-13	199+325	26/06/2013	36,9	3,5
I-0901-13	1491-13	184+700	26/06/2013	57,6	0,4

En la Tabla 12 se puede observar que solamente dos de los valores de resistencia obtenidos para la base estabilizada BE-35 se ubican alrededor del valor promedio establecido en el Cartel de Licitación, los otros datos se mantienen alrededor de 60 kg/cm^2 , siendo el valor promedio de este grupo de datos de $49,9 \text{ kg/cm}^2$, mientras que lo establecido por especificación es de 40 kg/cm^2 .

Adicionalmente cabe recalcar que la PCA⁵ 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 resistencia mayores a los 40 kg/cm^2 . 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).

⁵ The Portland Cement Association

Altas resistencias a la compresión de la capa de base estabilizada podrían 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^2 .

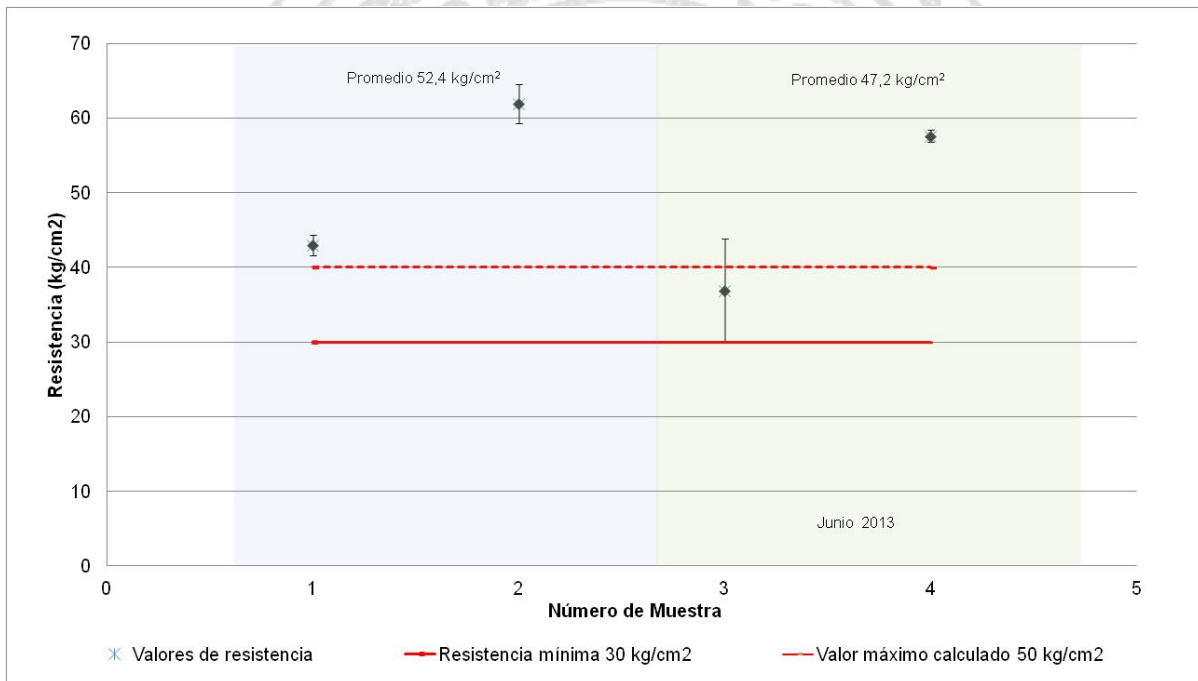


Gráfico 3. Análisis resistencia a la compresión para el material de la Base Estabilizada BE-35 para estacionamientos estudiados del proyecto Cañas-Liberia, según datos de LanammeUCR

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 50,5%, 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	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
BE-35	I	4	50,5	64,0

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.

- **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.

Del gráfico 5 se puede observar la distribución a nivel granulométrico en las diferentes mallas, además en el gráfico 4 se puede 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 dos de los tres meses que corresponden al periodo de estudio de este informe de auditoría técnica (mayo y junio).

Tal y como se puede observar en el gráfico la mayoría de los datos está por encima del promedio de 40,0 kg/cm² establecido en el Cartel de Licitación, con un promedio de 55,9 kg/cm² para el grupo de datos en estudio lo que resulta en un aumento de aproximadamente

16,0 kg/cm² 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.

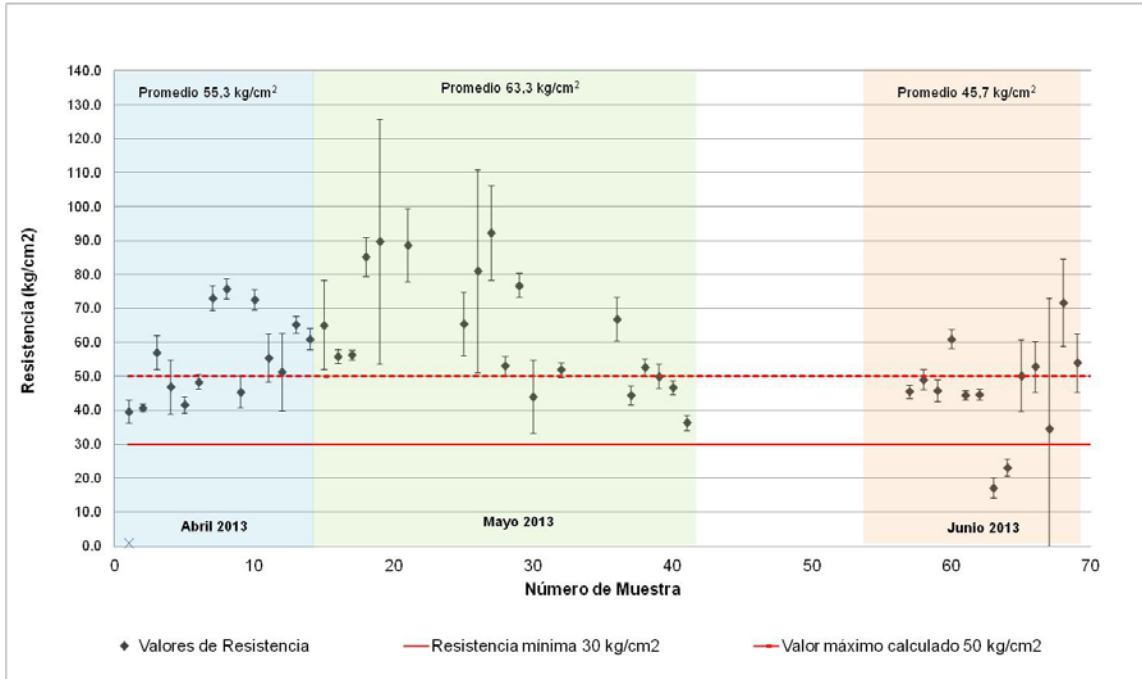


Gráfico 4. Análisis resistencia a la compresión para el material de la Base Estabilizada BE-35 para estacionamientos estudiados del proyecto Cañas-Liberia, según datos de Verificación de Calidad (Cacisa&Euroestudios)

Por otro lado si bien es que 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/cm², 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/cm²) en un 60,9% aproximadamente para el total de muestras analizadas en el periodo de estudio (mayo y junio del 2013).

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 todas las curvas se encuentran dentro de los límites especificados. (Ver Gráfico 5)

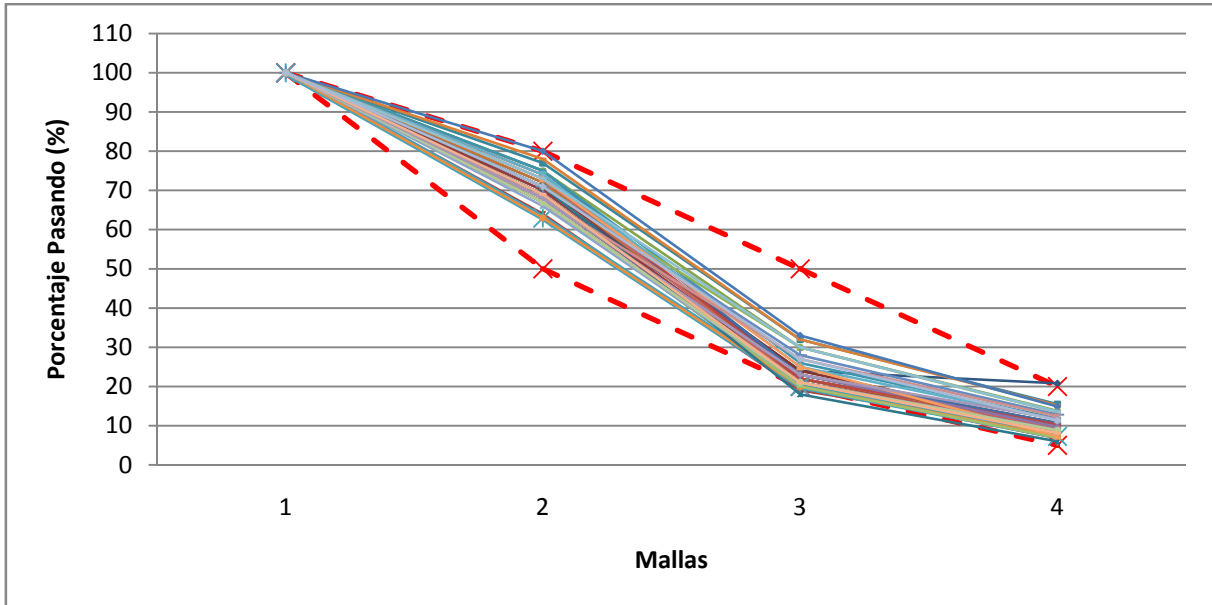


Gráfico 5. Análisis granulométrico para el material de la base estabilizada BE-35 para los estacionamientos estudiados del proyecto, según datos de Verificación de Calidad.

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, ya que 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 14).

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	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Abril	1 ½"	II	15	0,0	51,0
	No 4	II		0,0	51,0
	No 40	II		15	51,0
	No 200	II		2	51,0
	BE-35	I	14	67	53,0
Mayo	100	II	11	0,0	55,0
	63	II		4,0	55,0
	27	II		18,0	55,0
	16	II		0,0	55,0
	BE-35	I	19	81,0	49,0
Junio	1 ½"	II	12	0,0	53,0
	No 4	II		0,0	53,0
	No 40	II		11,0	53,0
	No 200	II		0,0	53,0
	BE-35	I	13	51,0	53,0

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/cm².

Tal y como se puede observar en la Tabla 14, para el caso de la base estabilizada BE-35, en Abril de 2013 el porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación es mayor al permitido por la especificación cartelaria para una muestra de 14, al igual que en el caso de Mayo de 2013 donde se observa que el valor del porcentaje calculado es de 81.0% 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 se encuentra fuera del rango y por ende deben tomarse las medidas del caso. En el caso de Junio de 2013 el porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación es menor al permitido, ya que el valor calculado es de 51.0 y el permitido de 53.0 para 13 datos.

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/cm²) 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.

Se puede observar en la Tabla 15 que no hay valores fuera del rango 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 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 kg/cm^2 y el valor promedio de 40 kg/cm^2) así como el límite calculado a partir de inferencia estadística descrito en el apartado 8.3 de 50 kg/cm^2 . Esto para los tres meses que corresponden al periodo de estudio de este informe de auditoría técnica (Abril, Mayo y Junio de 2013).

Del Gráfico 6 se observa que la mayoría de los datos está por encima del promedio de 40 kg/cm^2 establecido en el Cartel de Licitación, con un promedio para el grupo de datos en estudio de 55.6 kg/cm^2 lo que resulta en un aumento de casi 16 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 kg/cm^2 . Aproximadamente el 98.8% de los resultados reportados por el control de calidad (analizados en el presente informe) sobrepasan el valor promedio establecido en el Cartel de Licitación de 40 kg/cm^2 .

Se reitera que 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.

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 no existe un porcentaje de datos fuera del rango establecido, se encuentran dentro de los límites establecidos por la especificación acorde con los datos reportados por este laboratorio.

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.

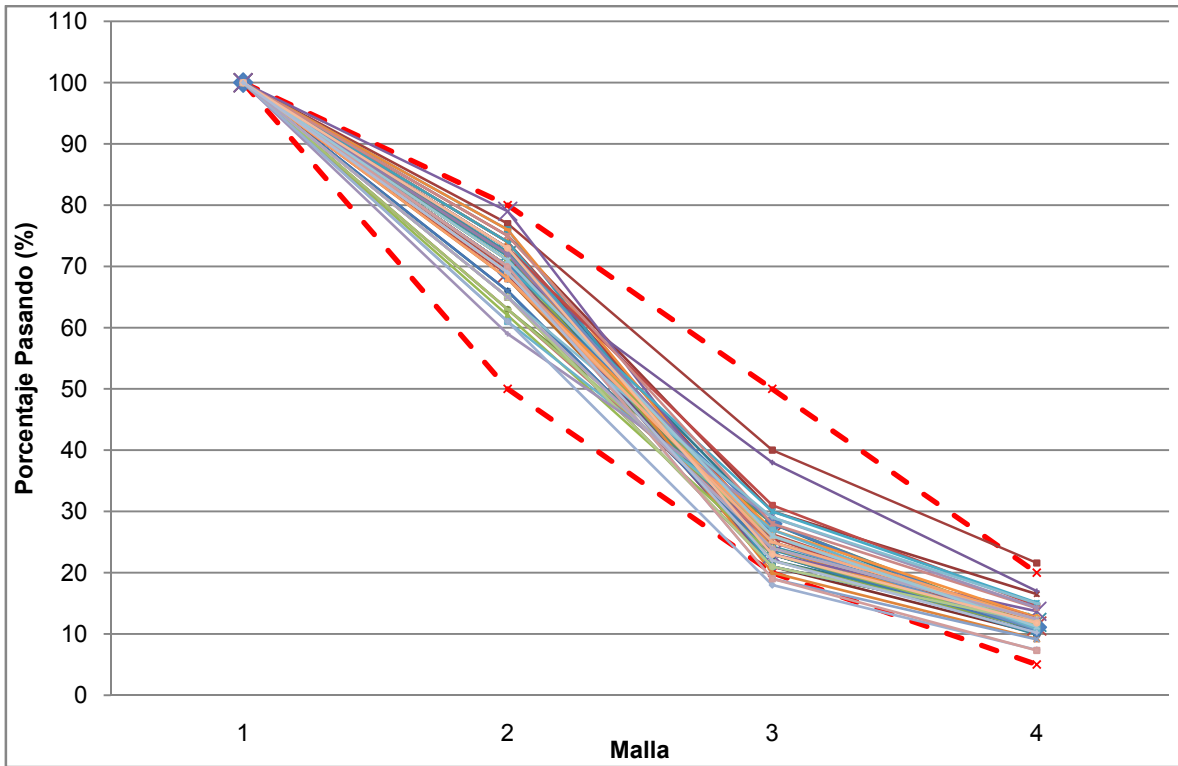


Gráfico 7. Análisis granulométrico para el material de la base estabilizada BE-35 para los estacionamientos estudiados del proyecto, según datos de Control de Calidad.

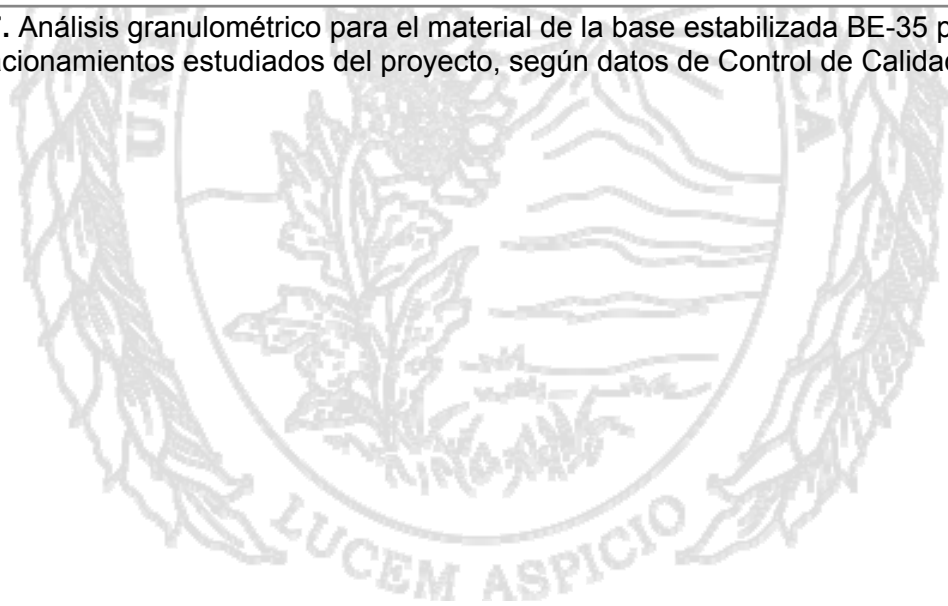


Tabla 15. Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados y factor de pago en función de la calidad para las muestras de base estabilizada ensayadas por el laboratorio de control de calidad.

Mes	Parámetro	Categoría	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Abril	1 ½"	II	27	0,0	48,0
	No 4	II		0,0	48,0
	No 40	II		13,0	48,0
	No 200	II		0,0	48,0
	BE-35	I	38	70,0	46,0
Mayo	100	II	14	0,0	53,0
	63	II		1,0	53,0
	27	II		9,0	53,0
	16	II		0,0	53,0
	BE-35	I	23	86,0	48,0
Junio	1 ½"	II	17	0,0	51,0
	No 4	II		0,0	51,0
	No 40	II		11,0	51,0
	No 200	II		0,0	51,0
	BE-35	I	21	61,0	48,0

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/cm².

En la Tabla 15, para el caso de la base estabilizada BE-35, en Abril de 2013 el porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación es mayor al permitido por la especificación cartelaria para una muestra de 38 datos, al igual que en el caso de Mayo de 2013 donde se observa que el valor del porcentaje calculado es de 86.0% en contraposición con un máximo permitido de 48.0% para una muestra de 23 datos, por lo que de acuerdo con los criterios de evaluación y pago establecidos contractualmente, el material evaluado no se encuentra dentro de las especificaciones y por ende deberían tomarse las medidas del caso. En el caso de Junio de 2013 el porcentaje calculado fuera de los de especificación es de 61.0% y el valor de 48% permitido a nivel cartelario.

D. SOBRE LOS RESULTADOS DEL CONCRETO UTILIZADO COMO PAVIMENTO RIGIDO 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)

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 “Pago de obra ejecutada en función de la calidad”.

En cuanto a la calidad del material de concreto colocado y el cumplimiento de las especificaciones cuartelarias y CR- 2010 en miras de la recepción definitiva del proyecto en la sección VI. Requisitos de Obra, apartado 13. Pavimento de Concreto Hidráulico con refuerzo de 25 cm del Cartel de Licitación del proyecto en mención se indica lo siguiente:

... Deberá cumplir con todo lo especificado en el CR-2010...

... CR.501.01(a) Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo (de 25.0 cm., de espesor y módulo de ruptura de 50 kg/cm²)...

Posteriormente en el Cartel de Licitación, sección Pago de Obra en Función de la Calidad, se adjunta la siguiente tabla (Ver Tabla A3), donde se indican los parámetros del concreto a valorar en la aceptación y pago y los requisitos de estos:

Tabla A3					
Parámetros de evaluación de la mezcla de concreto hidráulico fuera de los límites de tolerancia					
Propiedad o característica	Categoría	Método de prueba	Frecuencia	Puntos de muestreo	Rango de aceptación
Modulo de fluencia del acero	I	AASHTO M 254, tipo A o B	Cada 20.000 kg	En apilamiento	Mínimo 4.200 kg/cm ²
Revenimiento	I	AASHTO T-119	1 por descarga	En sitio de descarga	Diseño ± 2.5cm
Temperatura	II	Termómetro	1 por descarga	En sitio de descarga	22 ± 10°C
Resistencia a la Flexotracción	I	AASHTO T-97	1 muestra cada 2000m ² pero no menos de una al día	En sitio de descarga	Mayor de 50 kg/cm ²

(1): Con respecto al valor de diseño reportado y aceptado por la Administración

(2): Porcentaje por peso de la mezcla asfáltica

Según lo que se indica en el oficio FCC-INT-314-2013, Propuesta de diseño MR-50 para pavimento de concreto superficie de rudo, del 21 de junio del 2013. En este oficio se adjunta el informe de No.12-33-2013 de L.G.C. Ingeniería de Pavimentos S.A. con los detalles del diseño del concreto según el CR-2010.

En el Anexo-2- se indica que:... 2-8 Revenimiento: 2 a 5 cm según ACI-211, por ser formaleta deslizante se ocupa revenimiento cercano a 3 cm...

Observación 7: Los resultados del concreto del pavimento rígido para las muestras ensayadas por el LanammeUCR 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 concreto del pavimento rígido muestreado en el proyecto por laboratorio del LanammeUCR, en el período de abril a junio del 2013, presentados en la Tabla 16 se observa que los valores obtenidos para los distintos parámetros si cumplen con los rangos de especificación establecidos en el Cartel de Licitación del proyecto en estudio.

Tabla 16. Resultados de ensayos para muestras de concreto del pavimento en el proyecto Cañas-Liberia, LanammeUCR.

Informe	Muestra	Est.	Fecha	Temperatura °C	Revenimiento (mm)	Resistencia Flexotracción
Especificación				22±10°C	30±25 mm	Mínimo 50 kg/cm²
I-0614-13	1154-13/1155-13	209+801	13/06/2013	30	30	54,8
I-649-13	1358-13/1359-14	191+577	25/06/2013	28,9	50	55,1
I-0806-13	1498-13/1499-14	193+251	16/05/2013	31,5	25	56,1

A continuación se representa gráficamente los valores de resistencia a la flexotracción para vigas de concreto ensayadas por el LanammeUCR en comparación con el límite establecido en el Cartel de Licitación del proyecto en mención de 50kg/cm². Tal y como se puede observar en el Gráfico 8, todos los valores se encuentran por encima del límite inferior establecido.

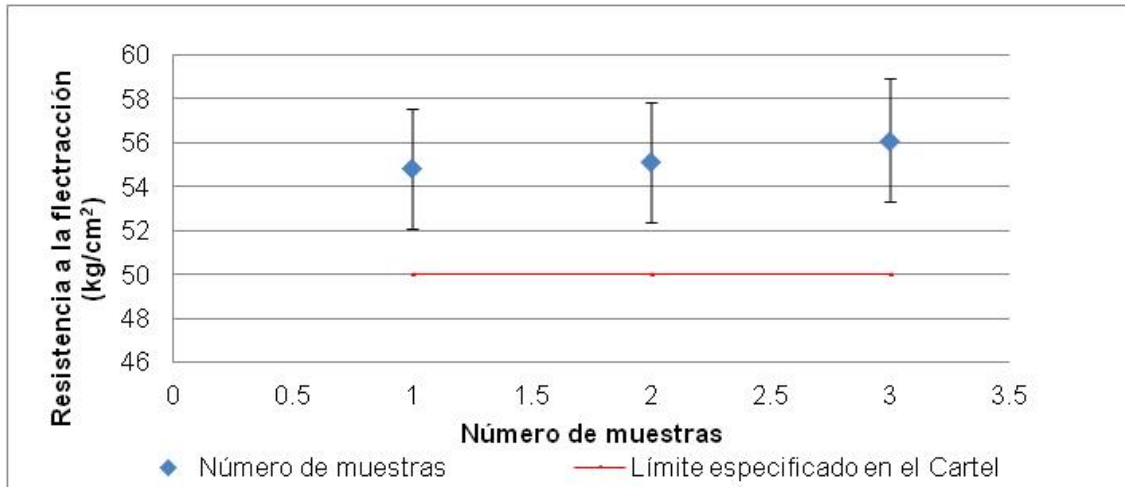


Gráfico 8. Análisis resistencia a la flexotracción del concreto para pavimento rígido del proyecto Cañas-Liberia, según datos de LanammeUCR

De acuerdo a la información de la Tabla 107-2 de la sección 107.05 del CR-2010 no se cuenta con la suficiente cantidad de datos para realizar el análisis establecido en el cartel. 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 8: Los resultados del concreto del pavimento rígido reportados 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) 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.

- **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 concreto para el pavimento.

A partir del análisis mostrado en la Tabla 17 se puede observar que los resultados de análisis y ensayos realizados para los parámetros de revenimiento, temperatura y resistencia a la flexotracción se encuentran dentro de los lineamientos de las especificaciones técnicas establecidas en el Cartel de Licitación del proyecto en mención. También se puede observar que para Abril de 2013, no se reportan datos.

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 17, que es menor al valor de porcentaje máximo permitido por la especificación.

Tabla 17. Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras de concreto para pavimento rígido ensayadas por el laboratorio de verificación de calidad.

Mes	Parámetro	Categoría	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Mayo	Temperatura	II	23	11,0	48,0
	Revenimiento	I	27	31,0	48,0
	Resistencia a la flexotracción	I	10	42,0	55,0
Junio	Temperatura	II	27	0,0	48,0
	Revenimiento	I	33	42,0	46,0
	Resistencia a la flexotracción	I	32	14,0	46,0

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

A continuación se representa gráficamente los valores de resistencia a la flexotracción para vigas de concreto ensayadas por el laboratorio de Verificación de Calidad en comparación con el límite establecido en el Cartel de Licitación del proyecto en mención de 50kg/cm².

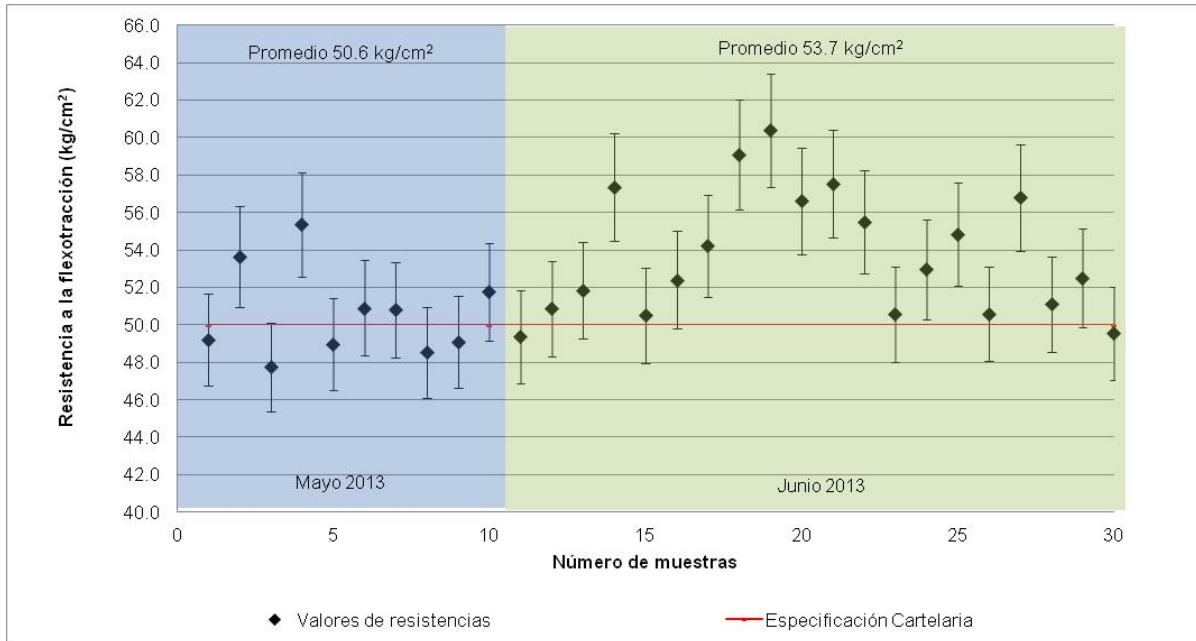


Gráfico 9. Análisis resistencia a la compresión flexotracción de concreto de pavimento rígido del proyecto Cañas-Liberia, según datos de Verificación de Calidad (Cacisa&Euroestudios)

Tal y como se puede observar en el Gráfico 9, como en Mayo de 2013, existen mucho mas valores por debajo del límite de 50 kg/cm², ya en Junio de 2013, solo se observa un valor por debajo del límite indicado.

- **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 concreto del pavimento rígido. Del análisis realizado (presentado en la Tabla 20) los datos observados se puede determinar que los resultados de los ensayos realizados al concreto, tales como: temperatura, revenimiento y resistencia a la flexotracción, se encuentran dentro de los rangos establecido en las especificaciones técnicas del Cartel de Licitación del proyecto en mención.

Se aplicó para el análisis estadístico de estos datos 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 compara el porcentaje total estimado fuera de los rangos de trabajo (PT) para los parámetros en estudio expresado en la Tabla 18, contra el porcentaje permitido, en este caso en específico todos los valores obtenidos son menores a los permitidos.

Tabla 18. Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados y factor de pago en función de la calidad para las muestras de concreto para pavimento rígido ensayadas por el laboratorio de control de calidad.

Mes	Parámetro	Categoría	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Abril	Temperatura	II	4	46,0	64,0
	Revenimiento	I	4	0,0	64,0
	Resistencia a la flexotracción	I	-	-	-
Mayo	Temperatura	II	19	34,0	49,0
	Revenimiento	I	19	15,0	49,0
	Resistencia a la flexotracción	I	10	15,0	55,0
Junio	Temperatura	II	19	0,0	49,0
	Revenimiento	I	19	21,0	49,0
	Resistencia a la flexotracción	I	20	0,0	49,0

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

A continuación se representa gráficamente los valores de resistencia a la flexotracción para vigas de concreto ensayadas por el laboratorio de Control de Calidad en comparación con el límite establecido en el Cartel de Licitación del proyecto en mención de 50kg/cm².

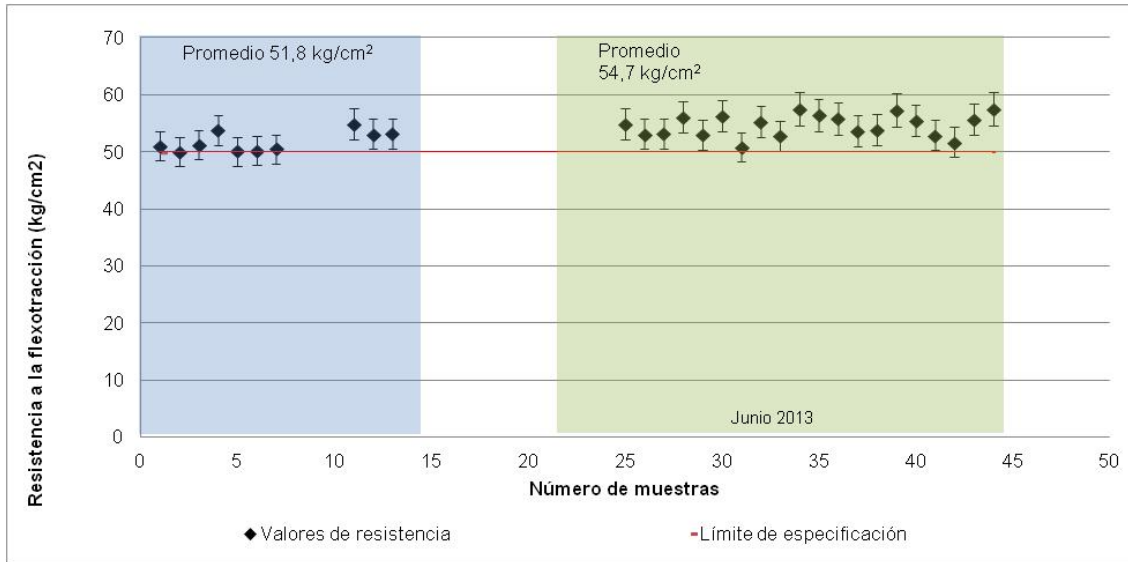


Gráfico 10. Análisis resistencia a la compresión flexotracción de concreto de pavimento rígido del proyecto Cañas-Liberia, según datos de control de Calidad (L.G.C. Ingeniería en Pavimentos)

Tal y como se puede observar en el gráfico 10, en Mayo y Junio de 2013, no se presentan valores menores a los 50 kg/cm², cuyo límite está indicado en el Cartel de Licitación del proyecto en mención.

E. SOBRE EL RESULTADO DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL IRI EN SECCIONES DE BASE ESTABILIZADA Y PAVIMENTO RIGIDO DEL PROYECTO.

Observación 9. El valor calculado del Índice de Regularidad Internacional (IRI) para secciones del proyecto de base estabilizada BE-35 es de 3,5 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 19 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 2,2 a 4,1 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).

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 éstas 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, contribuye a realizar 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.

Tabla 19. Datos de IRI característico en la capa de base estabilizada de secciones del proyecto.

Estacionamiento		Lado	Desviación estándar	IRI (m/km) característico
204+350	204+650	ambos	0.00	3.8
195+260	195+935	ambos	0.67	4.1
194+960	195+785	ambos	0.36	3.7
190+840	192+385	ambos	0.27	2.3
190+170	190+935	ambos	0.24	3.3
187+180	188+600	ambos	0.28	2.8
186+720	187+120	ambos	0.99	3.2
182+400	183+430	ambos	0.96	4.1
182+830	183+643	ambos	0.31	3.4
180+200	180+976	ambos	0.57	3.7
180+180	180+920	ambos	0.47	3.4
170+090	170+820	derecho	0.26	2.2
Promedio				3.3
Desviación				0.63
Coefficiente de variación				0.1881
IRI característico				3.5

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-0842-2013 del 24 de julio de 2013 emitido 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.

A continuación se muestra el gráfico 11, el valor promedio por estacionamiento o IRI característico, medido para las secciones del proyecto en base estabilizada calculadas en las secciones indicadas en la Tabla 19.

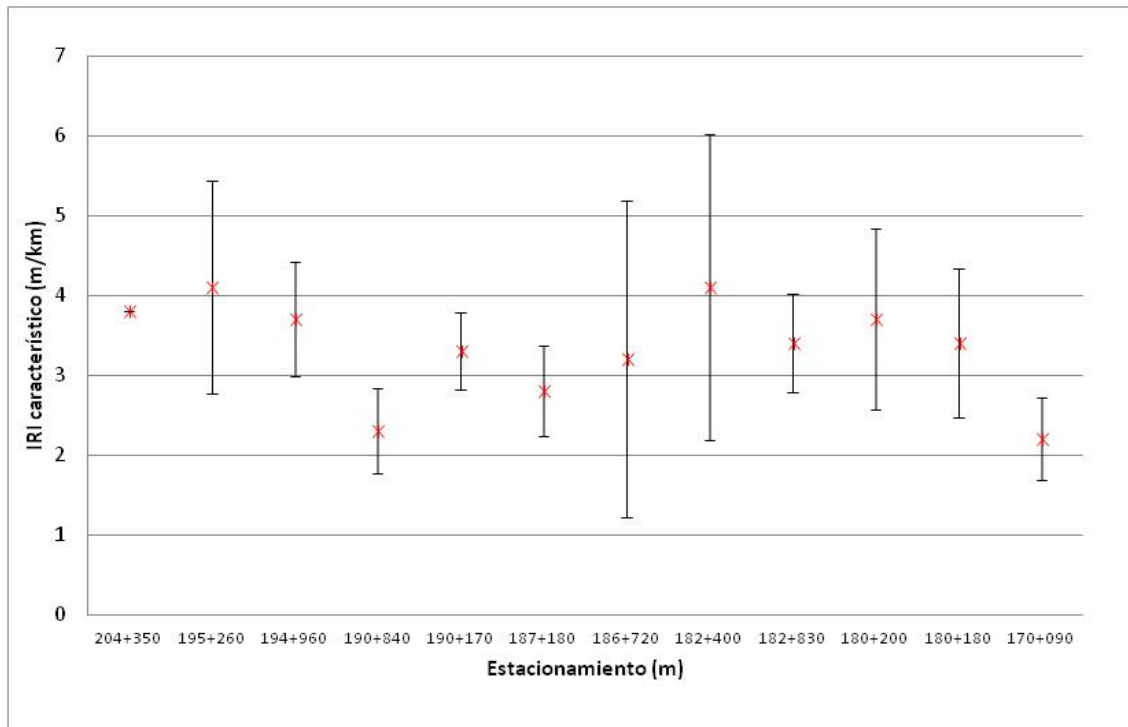


Gráfico 11. Datos de IRI característico para diferentes estacionamientos de Base estabilizada del proyecto.

Observación 10. El valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) calculado para algunas de las secciones del proyecto de pavimento rígido, por el LanammeUCR presentan en general valores superiores a la especificación tanto para datos individuales como para el promedio de cinco datos (media móvil).

Para desarrollar esta sección del informe se toma como base la sección VI. Requisitos de las obras "Control de Regularidad" del Cartel de Licitación del proyecto en mención, donde se definen las especificaciones para la medición del perfil longitudinal y cálculo del IRI, estableciéndose que:

1. ...Se medirá en forma continua en tramos de 200 metros, o fracción en caso de que el último tramo de un sector homogéneo no alcance a los 200 m. Se informará el IRI (m/Km.) con un decimal. La rugosidad se medirá longitudinalmente por pista mediante un sistema perfilométrico de precisión; se medirá la elevación del perfil al milímetro y con una frecuencia igual o superior a cuatro puntos por metro, es decir, cada 250 mm, como máximo, y ejecutando el programa del IRI. Alternativamente, este control se podrá efectuar con rugosímetros del tipo respuesta, debidamente calibrados con algún sistema perfilométrico que cumpla las mismas características mencionadas anteriormente, o bien, mediante nivel y mira con la precisión y frecuencia señaladas.

2. La evaluación del IRI se realizará por tramos de cinco tramos consecutivos. Se entenderá que la superficie del pavimento tiene una rugosidad aceptable si todos los promedios consecutivos de cinco valores de IRI tienen un valor igual o inferior a 1,5 m/km, y ninguno de los valores individuales supera 2,0 m/Km. En caso de incumplimiento de esta última condición, el Contratista deberá efectuar las reparaciones necesarias para llegar a un valor de IRI bajo el límite máximo establecido. En caso contrario, se aplicará una multa del 40% del costo del Pavimento de hormigón asfáltico en caliente con tamaño máximo nominal de 19mm, de 15 cm de espesor.(Lo subrayado no es del texto original).

3. En caso de incumplimiento de la condición del promedio de cinco muestras consecutivas (200 m cada una), se aplicará la siguiente tabla de multas sobre el valor de la superficie de rodamiento:

TABLA 1. MULTAS POR DEFICIENCIAS EN LA RUGOSIDAD

IRI (m/km) ASTM E-70	MULTAS CON RESPECTO AL VALOR DE LA CAPA DE CARPETA ASFÁLTICA EN EL ÁREA AFECTADA
1,5 > IRI	0%
1,5 ≤ IRI < 1,75	5%
1,75 ≤ IRI < 2,0	10%
2,0 ≤ IRI < 2,5	20%
2,5 ≤ IRI	40%

4. ..."Si el sector homogéneo tiene una longitud inferior o igual a 800 m, sólo registrará la condición de que ninguno de los valores individuales medidos supere el IRI máximo permitido. En caso de incumplimiento, el Contratista deberá efectuar las reparaciones necesarias para llegar a un valor de IRI bajo el límite máximo establecido. En caso contrario, se aplicará una multa del 40% del costo del Pavimento de hormigón asfáltico en caliente con tamaño máximo nominal de 19mm, de 15 cm de espesor...."

5. En caso de que el IRI supere el valor de 4.0m/Km., para un tramo particular, dicho tramo deberá ser demolido y reconstruido sin costo adicional para la Administración. El contratista deberá suministrar los informes de índice de rugosidad (IRI) para la totalidad de los tramos del proyecto. El informe será suministrado como requisito para el trámite de estimaciones de pago que involucren el Pavimento de hormigón asfáltico en caliente con tamaño máximo nominal de 19mm, de 15 cm de espesor...".

Tal y como se puede observar de la lectura de la especificación acerca del índice de Regularidad Internacional para el pavimento de concreto del Cartel de Licitación, se puede observar que al final del párrafo se menciona que: ... del costo del Pavimento de hormigón asfáltico en caliente con tamaño máximo nominal de 19mm, de 15 cm de espesor. Donde el pavimento mencionado en la especificación citada y el espesor indicado no corresponden con el que está siendo construido, por lo que es importante que la Administración brinde atención a estos detalles antes de emitir el Cartel de Licitación con el objetivo de aclarar posibles inconsistencias o situaciones que puedan generar confusión.

A continuación se presenta una serie de tablas con el valor del IRI por tramo del proyecto donde se calculó en las secciones del pavimento rígido. Es importante recalcar que esto se calcula utilizando lo indicado en el Cartel de Licitación en la sección VI. Requisitos de las obras "Control de Regularidad" para el pavimento de concreto.

- **Sección I: 206+600 a 206+890**

Este tramo tiene una longitud de 290m, por lo que acorde a lo que se menciona en el cartel de licitación, sección *Control de Regularidad (IRI)* las condiciones que se deben de revisar son las siguientes:

- (a). *Valores individuales menores a 2m/km*
- (b). *Ningún tramo con valores mayores a 4.0m/km*

Por lo que se procede a realizar los cálculos necesarios para realizar la comparación de los resultados obtenidos con la especificación del Cartel, cabe mencionar que el último tramo con una longitud de 90m, no se reporta, ya que presenta una longitud menor a la especificada.

Tabla 20. Análisis de resultados de IRI (m/km) según especificación cartelaria, sección 206+600 al 206+890

Datos de IRI @200m						Especificación de IRI del Cartel para losa de concreto	
Est_Ini	Est_Fin	CI @200m	CD @200m	MRI @200m	Media móvil	Valor individual < 2m/km	Tramos < 4.0m/km
206+600	206+800	2,3	2,1	2,2	NA	No	ok

Est- Ini : Estacionamiento Inicial

Ets Fin: Estacionamiento Final

MRI: Promedio de Valores IRI (m/km)

Media móvil: Promedio de cinco valores consecutivos

CI: Carril Izquierdo, CD: Carril Derecho

* Solo se realizó el análisis para tramos completos de 200m, acorde a lo que se indica en el Cartel de Licitación.

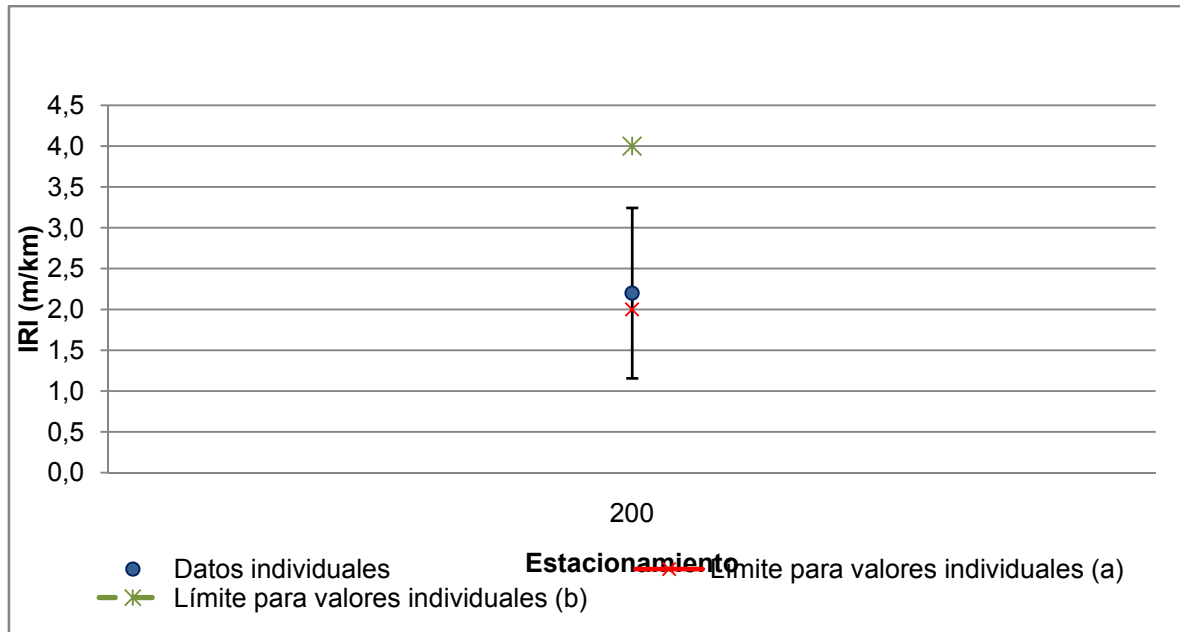


Gráfico 12. Análisis de resultados de IRI(m/km) según especificación cartelaria, sección 206+600 al 206+890.

Tal y como se puede observar en la tabla 20 y gráfico 11, presentados anteriormente, como el tramo medido es de 290m (menor a 800m), se evalúa solamente dos criterios, de los cuales se puede decir que:

En el caso de la especificación relacionada con el valor individual $< 2\text{m/km}$ donde se evalúa el valor máximo permitido para valores individuales que es de $2,0\text{m/km}$, los resultados obtenidos están por encima del límite máximo especificado, con un valor de $2,2\text{ m/km}$.

En el caso del análisis de tramos con valor $< 4,0\text{m/km}$, en la sección de estudio el valor obtenido se encuentran por debajo de este valor máximo determinado por $4,0\text{m/km}$ aunque como se mencionó anteriormente son mayores a $2,0\text{m/km}$ (especificación para valores individuales).

- **Sección II: 207+081 a 208+291**

Este tramo tiene una longitud de 1210 m, por lo que acorde a lo que se menciona en el cartel de licitación, sección *Control de Regularidad (IRI)* las condiciones que se deben de revisar son las siguientes:

- Valores individuales menores a 2m/km*
- Tramos con valores mayores a $4,0\text{m/km}$*
- Promedio de cinco valores consecutivos deber ser menor o igual a $1,5\text{ m/km}$*

Por lo que se procede a realizar los cálculos necesarios para realizar la comparación de los resultados obtenidos con la especificación del Cartel.

Tabla 21. Análisis de resultados de IRI (m/km) según especificación cartelaria, sección 207+081 al 208+281

Datos de IRI @200m				Especificación de IRI del Cartel para losa de concreto		
Est_Ini	Est_Fin	MRI @200m	Media móvil	Valor individual < 2m/km	Tramos < 4.0m/km	Valor de media móvil > 1.5 m/km
207+081	207+281	1.8	-	ok	ok	-
207+281	207+481	2.0	-	ok	ok	-
207+481	207+681	1.9	-	ok	ok	-
207+681	207+881	2.1	-	No	ok	-
207+881	208+081	2,0	2.0	ok	ok	No
208+081	208+281	1.7	1.9	ok	ok	No

Est- Ini : Estacionamiento Inicial
Ets Fin: Estacionamiento Final
MRI: Promedio de Valores IRI (m/km)
Media móvil: Promedio de cinco valores consecutivos
CI: Carril Izquierdo, CD: Carril Derecho

* Solo se realizó el análisis para tramos completos de 200m, acorde a lo que se indica en el Cartel de Licitación.

Tal y como se puede observar en la tabla 21 y gráfico 12 presentados, como el tramo medido es de 1210 m (mayor que 800m), se evalúan tres criterios:

En cuanto a lo relacionado con el máximo permitido para valores individuales que es de 2.0 m/km, el 16,7% de los datos individuales (1 de los 6 valores resultantes) está por encima del límite máximo.

En lo que se refiere al análisis realizado a la especificación para los valores individuales no sobrepasen el valor de 4,0m/km, la sección en estudio no presenta ningún resultado que supere el valor de 4,0m/km indicado.

Y para el último análisis en el que se calcula el promedio de cinco valores individuales consecutivos (media móvil) y se compara el límite máximo de 1,5m/km, que en el caso de este tramo el total de los datos analizados supera el límite máximo de esta especificación.

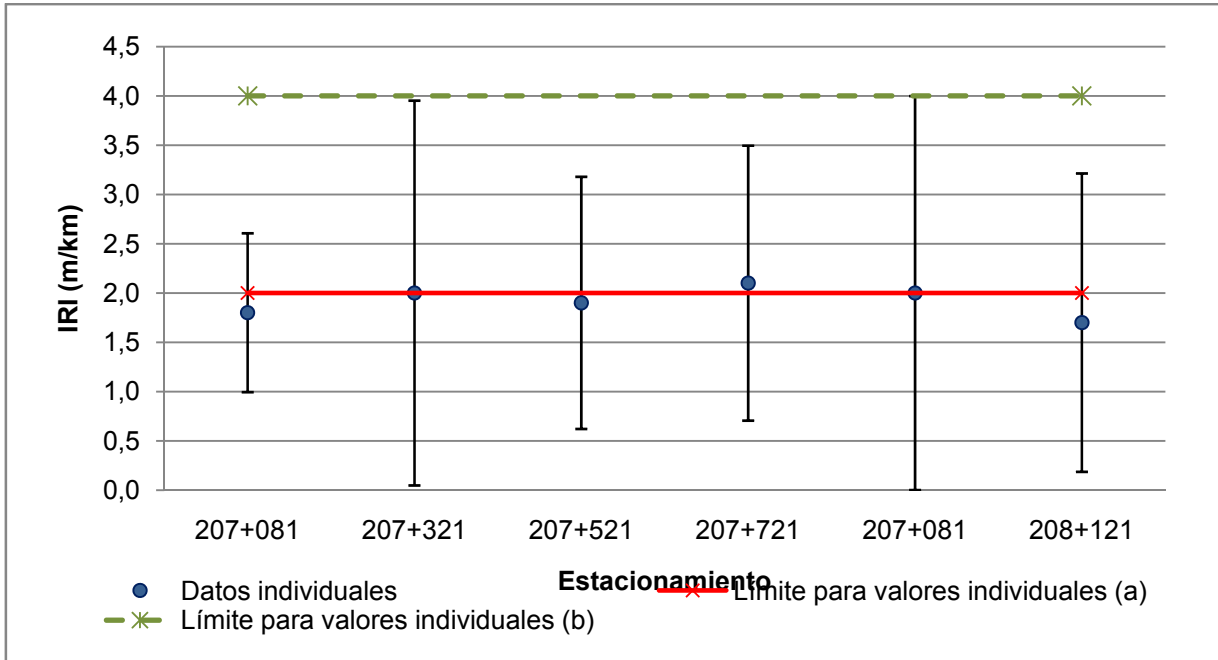


Gráfico 13. Análisis de resultados de IRI(m/km) según especificación carteleria, sección 207+081 a 208+291

- **Sección III: 208+312 a 209+538**

Al igual que en el caso anterior este tramo tiene una longitud de mayor a 800m , (longitud del tramo 1226 m), por lo que acorde a lo que se menciona en el cartel de licitación, sección *Control de Regularidad (IRI)* las condiciones que se deben de revisar son las siguientes:

- Valores individuales menores a 2m/km
- Tramos con valores mayores a 4.0m/km
- Promedio de cinco valores consecutivos deber ser menor o igual a 1,5 m/km

Por lo que se procede a realizar los cálculos necesarios para realizar la comparación de los resultados obtenidos con la especificación del Cartel.

Tabla 22. Análisis de resultados de IRI (m/km) según especificación cartelaria, sección 208+312 al 209+512

Datos de IRI @200m				Especificación de IRI del Cartel para losa de concreto		
Est_Ini	Est_Fin	MRI @200m	Media móvil	Valor individual < 2m/km	Tramos < 4.0m/km	Valor de media móvil > 1.5 m/km
208+312	208+512	2.3	-	No	ok	-
208+512	208+712	2.4	-	No	ok	-
208+712	208+912	2.3	-	No	ok	-
208+912	209+112	2.0	-	ok	ok	-
209+112	209+312	2.2	2.2	No	ok	No
209+312	209+512	1.9	2.2	ok	ok	No

Est- Ini : Estacionamiento Inicial

Ets Fin: Estacionamiento Final

MRI: Promedio de Valores IRI (m/km)

Media móvil: Promedio de cinco valores consecutivos

CI: Carril Izquierdo, CD: Carril Derecho

* Solo se realizó el análisis para tramos completos de 200m, acorde a lo que se indica en el Cartel de Licitación.

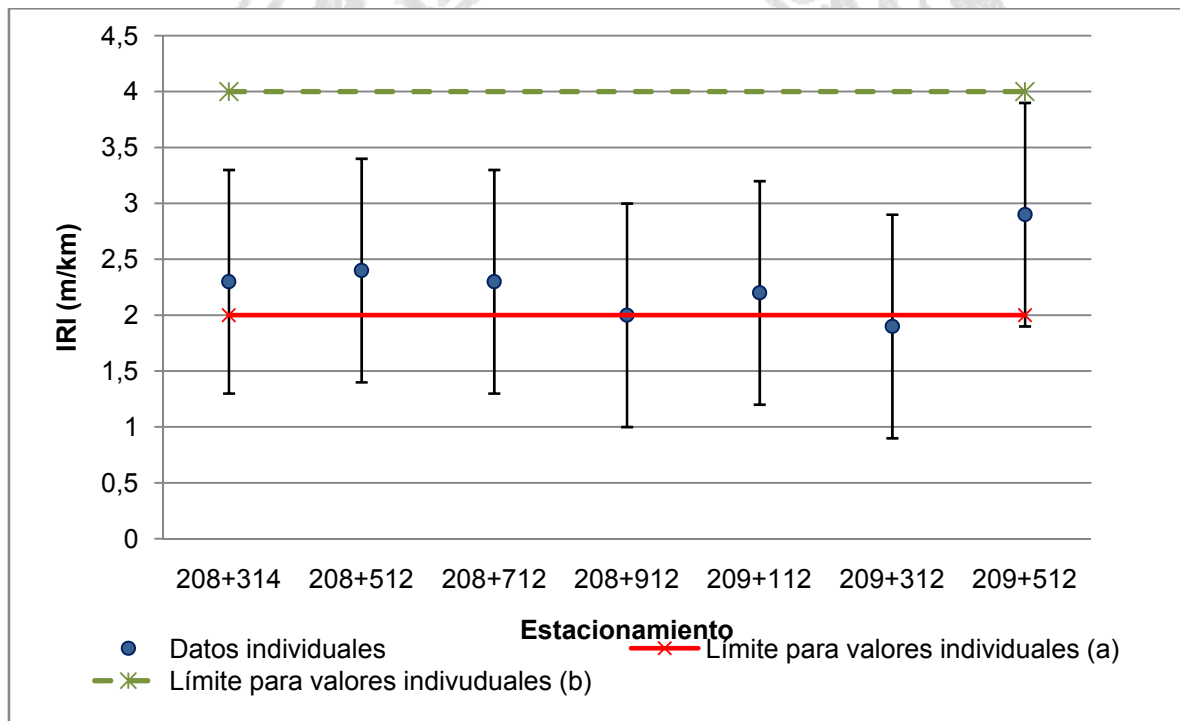


Gráfico 14. Análisis de resultados de IRI(m/km) según especificación cartelaria, sección 208+312 a 209+538

Tal y como se puede observar en la tabla 22 y gráfico 13, como el tramo medido es de 1226m, se evalúan tres criterios de los cuales se puede concluir lo siguiente:

Para la especificación en la cual se evalúa el valor máximo permitido para valores individuales de 2,0m/km, el 71,4% (4 de 6 valores analizados) de los datos obtenidos se encuentran por encima del límite máximo especificado para esta condición.

En el caso de la condición donde se evalúa que los valores individuales no sobrepasen el valor de 4,0m/km los todos los valores obtenidos se encuentran por debajo del límite de 4,0m/km.

En el caso del análisis donde se procede a calcular el promedio de cinco valores individuales consecutivos (media móvil) y se compara el valor máximo de 1,5m/km, en el caso de este tramo de estudio el 100% de los datos está por encima de este límite con un valor de 2.2 m/km.

Es importante mencionar que un incremento en el IRI repercute en aspectos económicos, relacionados con los costos de operación de los vehículos y el mantenimiento de pavimentos, además afecta las condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios de la vía.

Diferentes investigaciones realizadas, revelan que los costos de operación de los vehículos dependen de la magnitud de las irregularidades superficiales del pavimento, afectando la velocidad de circulación, el desgaste de las llantas y el consumo de combustible.

Los efectos dinámicos producidos por las irregularidades de las carreteras, pueden reflejarse no sólo en los vehículos, sino también en modificaciones de estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento, lo que puede incrementar los costos en las actividades de conservación y rehabilitación.

Por otro lado, se pudo observar a lo largo del análisis realizado para esta observación que en la especificación del Cartel de Licitación para el IRI, se presentan algunas ambigüedades en la descripción de la especificación y la aplicación de las multas, por lo que es importante que la Administración preste especial atención a este tipo de detalles que podrían afectar de manera directa la aplicación de esta sección del Cartel y por ende incidir en el calidad del proyecto.

Es importante señalar que es criterio de esta Auditoría que este índice de regularidad (IRI), deber ser medido en secciones homogéneas (delimitadas por singularidad) para garantizar que la medición se realice de forma completa y no se excluyan tramos con defectos constructivos que afectan el valor de este parámetro. Cabe destacar que la medición por secciones constructivas es un procedimiento importante que es recomendable seguir a manera de control de calidad.

11. CONCLUSIONES

11.1 En relación con el material de préstamo del proyecto Cañas-Liberia, del análisis granulométrico realizado utilizando tanto los valores obtenidos por ensayos realizados por el laboratorio de LanammeUCR como los reportados por la verificación y control de calidad se obtuvo que:

- LanammeUCR: Determina que las muestras analizadas se encuentran fuera de los rangos de la especificación indicada en el Cartel de Licitación del proyecto con respecto a la malla No 3".
- El procedimiento de compactación utilizado (energía utilizada, espesor de capas, entre otros), no elimina efectivamente el sobretamaño y que existe un porcentaje de material retenido mayor al requerido en la especificación cartelaria colocado en el proyecto en mención, situación que se pudo evidenciar ya que el muestreo realizado por el LanammeUCR es obtenido de la capa final, una vez conformado y compactado el material, y este al momento del muestreo todavía presentaba sobretamaño.
- 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.

11.2 Para el material de Subbase se puede observar en los datos analizados de los tres laboratorios involucrados en este estudio presentan valores por encima del límite establecido por la especificación en la malla 1 ½" a nivel granulométrico. Inconsistencia en la graduación granulométrica de los agregados podría ocasionar problema a la hora de densificar el material el campo.

11.3 Con respecto a los valores de resistencia a la compresión uniaxial en las muestras de especímenes de concreto ensayadas por los tres laboratorios analizados en este estudio se puede decir que en general se obtienen por encima del valor promedio establecido de 40 kg/cm² (límite promedio).

- LanammeUCR: Los resultados de base estabilizada BE-35 son en general mayores al promedio establecido en el Cartel de Licitación (40 kg/cm²).
- 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 kg/cm² establecido en el Cartel de Licitación, determinando un promedio general de 55,9 kg/cm² para el grupo de datos en estudio, lo que resulta en un aumento de aproximadamente 16,0 kg/cm² 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 kg/cm² establecido en el Cartel de Licitación,

con un promedio de $55,6 \text{ kg/cm}^2$ para el grupo de datos en estudio lo que resulta en un aumento de casi 16 kg/cm^2 en la resistencia promedio requerida.

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

- 11.4** Con respecto a los valores de resistencia a los parámetros analizados para el concreto de pavimento rígido, de las muestras ensayadas por los tres laboratorios, se puede decir que en general se tienen resultados de resistencia a la flexotracción acorde con lo solicitado en la especificación cartelería, para un valor establecido de mínimo 50 kg/cm^2 y los parámetros de revenimiento y temperatura se encuentran dentro de los límites especificados.
- 11.5** La aplicación de herramientas estadísticas para el control de procesos de producción de materiales que se incorporan a un proyecto, es de vital importancia ya que evalúan no sólo los resultados fuera de los límites de especificación, sino que también 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.
- 11.6** 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 $3,5 \text{ m/km}$ cada 200 m.
- 11.7** El valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI) para secciones del proyecto de pavimento rígido, calculado por el LanammeUCR presentan en general valores superiores a la especificación tanto para datos individuales como para el promedio de cinco datos (media móvil).

1. 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.

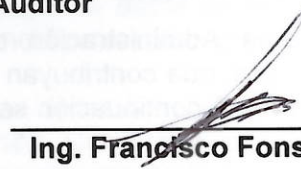
A la Ingeniería de Proyecto y la Unidad Ejecutora PIV I

- 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.

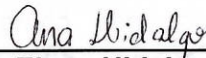
Equipo Auditor



Ing. Víctor Cervantes Calvo.
Auditor Técnico, LanammeUCR

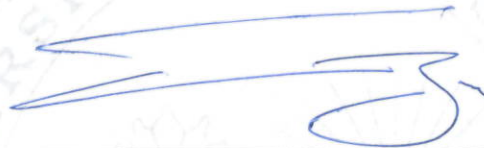


Ing. Francisco Fonseca Chaves.
Auditor Técnico, LanammeUCR



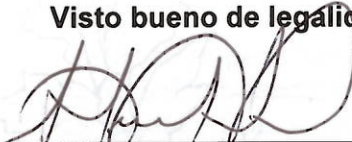
Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo.
Auditora Técnica, LanammeUCR

Aprobado por:



Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD.
Coordinador General Programa de Infraestructura del Transporte, y
Coordinador a.i. Unidad de Auditoría Técnica LanammeUCR

Visto bueno de legalidad



Lic. Miguel Chacón Alvarado.
Asesor Legal LanammeUCR



ANEXO 1

Oficio LM-IC-D-0843-2013





LM-IC-D-0843-13

Ref: Proyecto Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No.01 Carretera Interamericana Norte, sección Cañas - Liberia

Destinatario	Sello (Nombre y firma) - Fecha y Hora	Destinatario	Sello (Nombre y firma) - Fecha y Hora
Ing. Pedro Castro Fernández. Ministro MOPT		Ing. Dahiana Izaguirre Segura CONAVI	 <i>Los M...</i> <i>01/08/2013</i> <i>9:07</i>
Ing. Cristian Vargas. Gerencia de Conservación de Vías y Puentes. CONAVI	<i>Roxana Soto Muñoz</i> <i>01/08/13</i> <i>9:50</i>	Consejo Administrativo CONAVI	<i>Josenia Araoz</i>
Ing. Kenneth Solano CONAVI		Ing. Guillermo Loria Salazar. Coordinador LanammeUCR	
Ing. Enrique Obed Sánchez CONAVI	 <i>01/08/13</i> <i>9:50</i> <i>Renny...</i>	Ing. Jenny Chaverri LanammeUCR	
Ing. Vicent Blackamore Rodriguez CONAVI	<i>Wally</i>	Archivo UAT	

DIREC. EJECUTIVA
 1 AGO 2013 AM 9:23



29 de julio de 2013
LM-IC-D-0843-13

Ing. Pedro Castro Fernández, PhD.
Ministro
Ministerio de Obras Públicas y Transportes

Estimado señor Ministro:

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 de la superficie de ruedo (losa de concreto) colocado en el proyecto en mención.

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 LAS ESPECIFICACIONES DEL CARTEL DE LICITACIÓN LPI NO. 2012LI-000005-0DE00 DEL PROYECTO AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO. 1, CARRETERA INTERAMERICANA NORTE, SECCIÓN CAÑAS-LIBERIA EN RELACIÓN AL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

En cuanto a las especificaciones del proyecto para la regularidad superficial, en el Cartel de Licitación LPI No. 2012LI-000005-0DE0, sección VI Requisitos de Obra se detalla el apartado Control de Rugosidad (IRI), a continuación se muestra el extracto de dicho apartado.

Control de rugosidad (IRI):

El control de IRI (índice de rugosidad internacional) se realizará por sectores homogéneos, correspondientes a un mismo tipo de superficie de ruedo. No se considerarán puentes, vados u otras singularidades determinadas por la Ingeniería de Proyecto, que afecten la medición.

Se medirá en forma continua en tramos de 200 metros, o fracción en caso de que el último tramo de un sector homogéneo no alcance a los 200 m. Se informará el IRI (m/Km.) con un decimal. La rugosidad se medirá longitudinalmente por pista mediante un sistema perfilométrico de precisión; se medirá la elevación del perfil al milímetro y con una frecuencia igual o superior a cuatro puntos por metro, es decir, cada 250 mm, como máximo, y ejecutando el programa del IRI. Alternativamente, este control se podrá efectuar con rugosímetros del tipo respuesta, debidamente calibrados con algún sistema perfilométrico que cumpla las mismas características mencionadas anteriormente, o bien, mediante nivel y mira con la precisión y frecuencia señaladas.

La evaluación del IRI se realizará por tractos de cinco tramos consecutivos. Se entenderá que la superficie del pavimento tiene una rugosidad aceptable si todos los promedios consecutivos de cinco valores de IRI tienen un valor igual o inferior a 1,5 m/km., y ninguno de los valores individuales supera 2,0 m/Km. En caso de incumplimiento de esta última condición, el Contratista deberá efectuar las reparaciones necesarias para llegar a un valor de IRI bajo el límite máximo establecido. En caso contrario, se aplicará una multa del 40% del costo del Pavimento de hormigón asfáltico en caliente con tamaño máximo nominal de 19mm, de 15 cm de espesor.

En caso de incumplimiento de la condición del promedio de cinco muestras consecutivas (200 m cada una), se aplicará la siguiente tabla de multas sobre el valor de la superficie de rodamiento:

MULTAS POR DEFICIENCIAS EN LA RUGOSIDAD

IRI (m/km) ASTM E 1170	MULTAS CON RESPECTO AL VALOR DE LA CAPA DE CARPETA ASFÁLTICA EN EL ÁREA AFECTADA
$1,5 > IRI$	0%
$1,5 \leq IRI < 1,75$	5%
$1,75 \leq IRI < 2,0$	10%
$2,0 \leq IRI < 2,5$	20%
$2,5 \leq$	40% ó se repara

Si el sector homogéneo tiene una longitud inferior o igual a 800 m, sólo regirá la condición de que ninguno de los valores individuales medidos supere el IRI máximo permitido. En caso de incumplimiento, el Contratista deberá efectuar las reparaciones necesarias para llegar a un valor de IRI bajo el límite máximo establecido. En caso contrario, se aplicará una multa del 40% del costo del Pavimento de hormigón asfáltico en caliente con tamaño máximo nominal de 19mm, de 15 cm de espesor.

En caso de que el IRI supere el valor de 4.0m/Km., para un tramo particular, dicho tramo deberá ser demolido y reconstruido sin costo adicional para la Administración.

El contratista deberá suministrar los informes de índice de rugosidad (IRI) para la totalidad de los tramos del proyecto. El informe será suministrado como requisito para el trámite de estimaciones de pago que involucren el Pavimento de hormigón asfáltico en caliente con tamaño máximo nominal de 19mm, de 15 cm de espesor.

SOBRE EL RESULTADO DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL IRI EN SECCIONES DE LOSA DE CONCRETO DEL PROYECTO.

En el proyecto se realizó la medición del perfil longitudinal en secciones terminadas de la superficie de ruedo (losa de concreto) de acuerdo con la siguiente tabla (Ver Tabla 1), y se clasificó el tramo seleccionado de acuerdo a la longitud del mismo, para realizar el análisis de acuerdo a lo indicado en el Cartel de Licitación, Sección VI. Requisitos de las obras "Control de Regularidad"

Tabla 1. Medición en campo del IRI en secciones de la losa de concreto. Fecha de medición 29 de mayo del 2013

Estacionamiento		Lado	Longitud del tramo medido (m)	Condición según el Cartel
206+600	206+890	Derecho	290	Tramo menor que 800m
207+081	208+291	Derecho	1210	Tramo mayor que 800m
208+312	209+538	Derecho	1226	Tramo mayor que 800m

A continuación se presenta la Tabla 2, con el valor del IRI característico por tramo del proyecto donde se realizó el cálculo del índice de regularidad internacional IRI en el tramo de losa de concreto. 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.

Este valor de IRI característico es únicamente a manera de referencia, ya que de acuerdo a la sección del Cartel antes mencionada es necesario realizar un análisis completo con las especificaciones establecidas en dicho documento, ya que este parámetro es de aceptación y pago.

Tabla 2. Datos de IRI (m/km) característico para secciones de losa de concreto. Fecha de medición 29 de mayo del 2013

Estacionamiento		Lado	Desviación estándar	IRI (m/km)
				característico
206+600	206+890	Derecho	0.0707	2.2
207+081	208+291	Derecho	0.1472	2.0
208+312	209+538	Derecho	0.3237	2.4
			Promedio	2.2
			Desviación Estándar	0.20
			Coefficiente de variación	0.0909
			IRI característico	2.3

Análisis por secciones de losa

A continuación se presenta un análisis para cada una de las secciones o tramos de pavimento regido, medido y analizado:

- **Sección I: 206+600 a 206+890**

Este tramo tiene una longitud de 290m, por lo que acorde a lo que se menciona en el cartel de licitación, sección *Control de Regularidad (IRI)* las condiciones que se deben de revisar son las siguientes:

- Valores individuales menores a 2m/km
- Tramos con valores mayores a 4.0m/km serán demolidos

Por lo que se procede a realizar los cálculos necesarios para realizar la comparación de los resultados obtenidos con la especificación del Cartel.

Tabla 3. Análisis de resultados de IRI(m/km) según especificación cartelaria, sección 206+600 al 206+890

Datos de IRI @200m				Especificación de IRI del Cartel para losa de concreto	
Est_Ini	Est_Fin	MRI @200m	Media móvil	(a)	(b)
206600	206815	2.2	NA	No cumple	Valor entre 2.0 y 4.0m/km
206815	206890	2.1	NA	No cumple	Valor entre 2.0 y 4.0m/km

Est_Ini: Estacionamiento Inicial.

Ets_Fin: Estacionamiento Final.

MRI: Promedio de Valores IRI (m/km).

Media móvil: Promedio de cinco valores consecutivos.

NA: No Aplica.

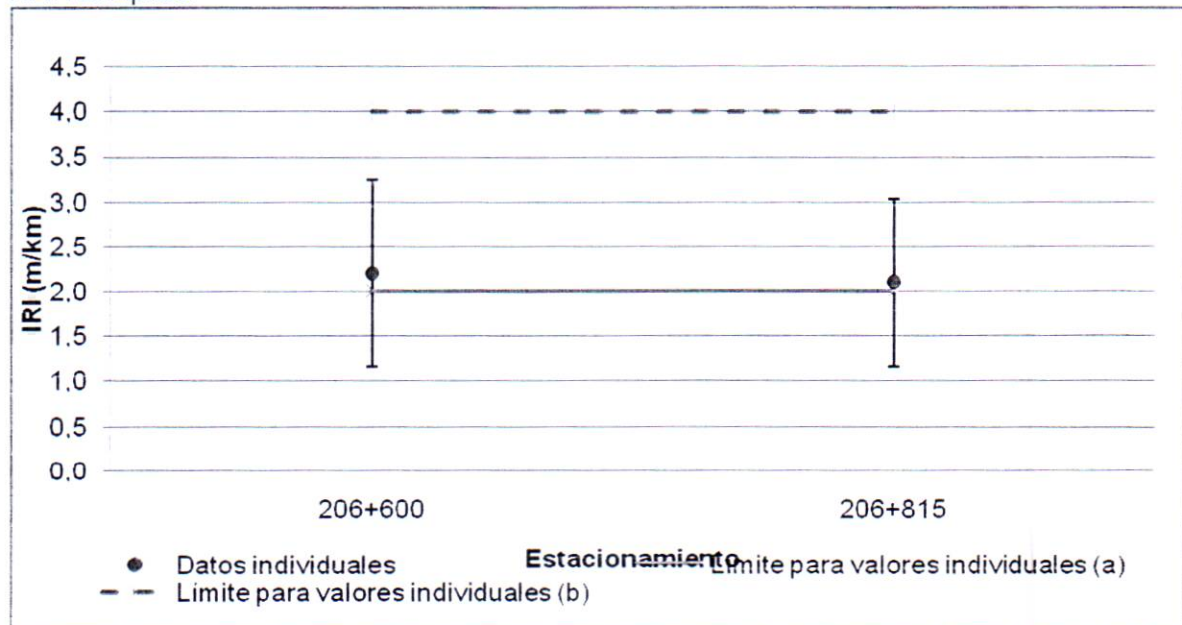


Gráfico 1. Análisis de resultados de IRI(m/km) según especificación cartelaria, sección 206+600 al 206+890

Tal y como se puede observar en la tabla 3 y gráfico 1, presentados anteriormente, como el tramo medido es de 290m (menor a 800m), se evalúa solamente dos criterios, de los cuales se puede decir que:

En el caso de (a) donde se evalúa el valor máximo permitido para valores individuales que es de 2.0m/km, los resultados obtenidos están por encima del límite máximo especificado, con valores de 2,2 y 2,1 m/km.

En el caso del análisis (b) donde se evalúa que los valores individuales no sobrepasen el valor de 4,0m/km, en la sección de estudio los valores obtenidos se encuentran por debajo de este valor máximo determinado por 4.0m/km aunque como se mencionó anteriormente son mayores a 2,0m/km (especificación para valores individuales).

- **Sección II: 207+081 a 208+291**

Este tramo tiene una longitud de 1210 m, por lo que acorde a lo que se menciona en el cartel de licitación, sección *Control de Regularidad (IRI)* las condiciones que se duden de revisar son las siguientes:

(a). Valores individuales menores a 2m/km

(b). Tramos con valores mayores a 4.0m/km serán demolidos

(c). Promedio de cinco valores consecutivos deber ser menor o igual a 1.5 m/km

Por lo que se procede a realizar los cálculos necesarios para realizar la comparación de los resultados obtenidos con la especificación del Cartel.

Tabla 4. Análisis de resultados de IRI(m/km) según especificación cartelaria, sección 207+081 al 208+291

Datos de IRI @200m				Especificación de IRI del Cartel para losa de concreto		
Est_In i	Est_Fi n	MRI @200m	Media móvil	(a)	(b)	(c)
20708 1	207321	1.8	-	ok	ok	-
20732 1	207521	2.0	-	ok	ok	-
20752 1	207721	1.9	-	ok	ok	-
20772 1	207921	2.1	-	No cumple	Valor entre 2.0 y 4.0m/km	-
20708 1	208121	2.0	2.0	ok	ok	No cumple
20812 1	208291	1.7	1.9	ok	ok	No cumple

Est_Ini: Estacionamiento Inicial.

Ets_Fin: Estacionamiento Final.

MRI: Promedio de Valores IRI (m/km).

Media móvil: Promedio de cinco valores consecutivos.

Tal y como se puede observar en la tabla 4 y gráfico 2 presentados, como el tramo medido es de 1210 m (mayor que 800m), se evalúa tres criterios:

En cuanto a lo relacionado con (a) donde se evalúa el valor máximo permitido para valores individuales que es de 2.0m/km, el 16.7% de los datos individuales (1 de los 6 valores resultantes) está por encima del límite máximo.

En lo que se refiere al análisis realizado para (b) donde se evalúa que los valores individuales no sobrepasen el valor de 4.0m/km, la sección en estudio presenta un resultado (16.7%) entre el límite para valores individuales de 2,0m/km y el valor de 4.0m/km indicado.

Y para el último análisis en (c) se calcula el promedio de cinco valores individuales consecutivos (media móvil) y se compara el límite máximo de 1,5m/km, que en el caso de este tramo el total de los datos analizados supera el límite máximo de esta especificación, y acorde con la tabla descrita en el cartel de licitación los resultado se ubican entre 1.75 y 2.0 m/km.

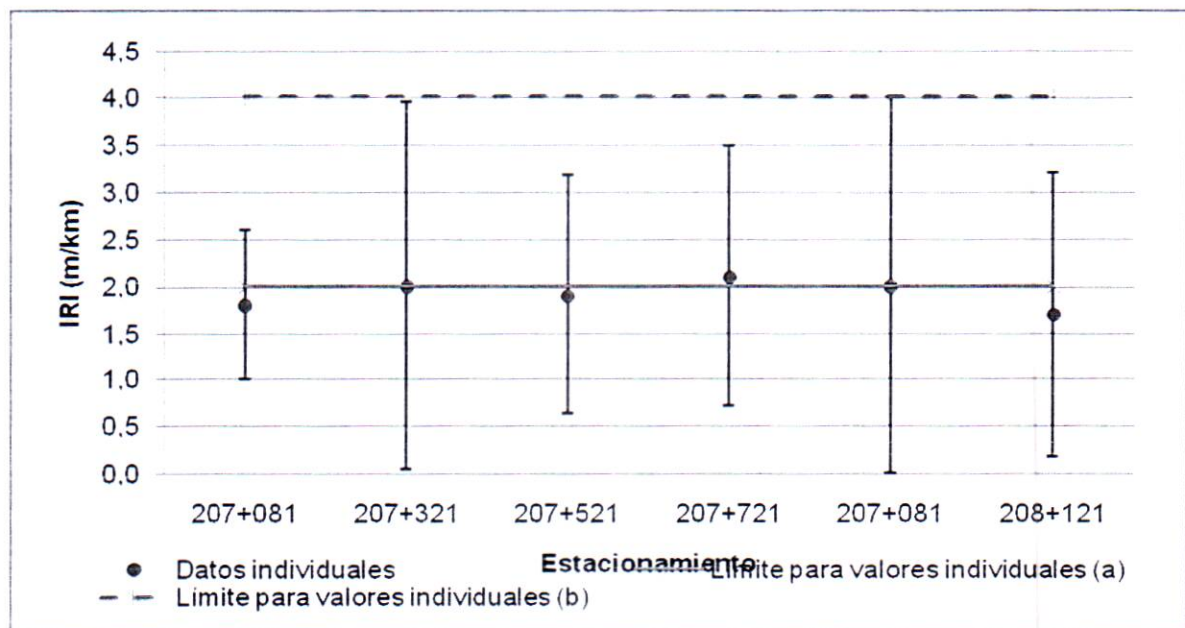


Gráfico 2. Análisis de resultados de IRI(m/km) según especificación cartelaria, sección 207+081 a 208+291



- **Sección III: 208+312 a 209+538**

Al igual que en el caso anterior este tramo tiene una longitud de mayor a 800m , (longitud del tramo 1226 m), por lo que acorde a lo que se menciona en el cartel de licitación, sección *Control de Regularidad (IRI)* las condiciones que se duden de revisar son las siguientes:

- (a). Valores individuales menores a 2m/km
- (b). Tramos con valores mayores a 4.0m/km serán demolidos
- (c). Promedio de cinco valores consecutivos deber ser menor o igual a 1.5 m/km

Por lo que se procede a realizar los cálculos necesarios para realizar la comparación de los resultados obtenidos con la especificación del Cartel.

Tabla 5. Análisis de resultados de IRI(m/km) según especificación cartelaria, sección 208+312 a 209+538

Datos de IRI @200m				Especificación de IRI del Cartel para losa de concreto		
Est_Ini	Est_Fin	MRI @200m	Media móvil	(a)	(b)	(c)
208312	208512	2.3	-	No cumple	Valor entre 2.0 y 4.0m/km	-
208512	208712	2.4	-	No cumple	Valor entre 2.0 y 4.0m/km	-
208712	208912	2.3	-	No cumple	Valor entre 2.0 y 4.0m/km	-
208912	209112	2.0	-	ok		-
209112	209312	2.2	2.2	No cumple	Valor entre 2.0 y 4.0m/km	No cumple
209312	209512	1.9	2.2	ok	ok	No cumple
209512	209538	2.9	2.3	No cumple	Valor entre 2.0 y 4.0m/km	No cumple

Est_Ini: Estacionamiento Inicial.

Est_Fin: Estacionamiento Final.

MRI: Promedio de Valores IRI (m/km).

Media móvil: Promedio de cinco valores consecutivos.

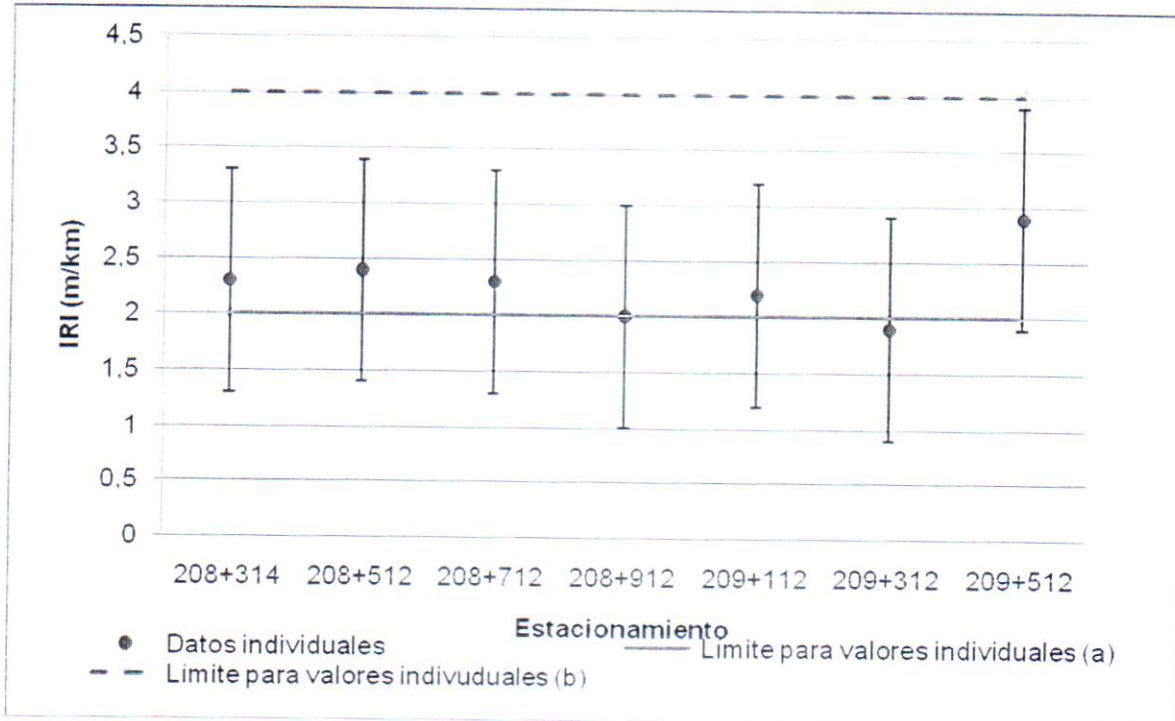


Gráfico 3. Análisis de resultados de IRI(m/km) según especificación cartelaria, sección 208+312 a 209+538

Tal y como se puede observar en la tabla 5 y gráfico 3, como el tramo medido es de 1226m, se evalúa tres criterios de los cuales se puede concluir lo siguiente:

Para la evaluación realizada en (a) donde se evalúa el valor máximo permitido para valores individuales de 2.0m/km, el 71.4% (5 de 7 valores analizados) de los datos obtenidos se encuentran por encima del límite máximo especificado para esta condición.

En el caso de la condición (b): donde se evalúa que los valores individuales no sobrepasen el valor de 4,0m/km los todos los valores obtenidos se encuentran por debajo del límite de 4.0m/km pero 5 de estos valores son mayores a 2.0m/km.

En el caso del análisis realizado en (c) donde se procede a calcular el promedio de cinco valores individuales consecutivos (media móvil) y se compara el valor máximo de 1,5m/km, en el caso de este tramo de estudio el 100% de los datos está por encima de este límite entre 2.0 y 2.5 m/km.



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO 1

INFORME I-0609-13 EMITIDOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA CIVIL DEL LANAMMEUCR

No. de informe: I-0609-13

Informe de Ensayo

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

ST-0600 -13

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Auditoría Técnica
Ing. Víctor Cervantes

Proyecto: Cañas-Liberia (Tramos en Base Estabilizada y en Concreto)

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

(**) 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 27 tramos en total. 4 tramos en Concreto y 23 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.

Realizado por: Francisco González. Técnico LanammeUCR

No. de informe: I-0609-13

Fecha de realización del ensayo: 2013-05-29

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





LanammeUCR

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica

ECA

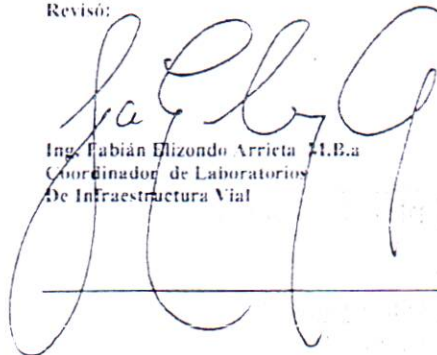
Laboratorio de ensayo
Alcance de Acreditación N° LE-018
Acreditado a partir de: 11/11/2002
Alcance disponible en www.eca.or.cr

No. de informe: I-0609-13

Aclaraciones:

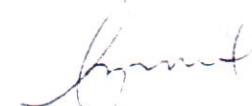
- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para la(s) muestra(s) indicada(s) en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original
- No se permite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

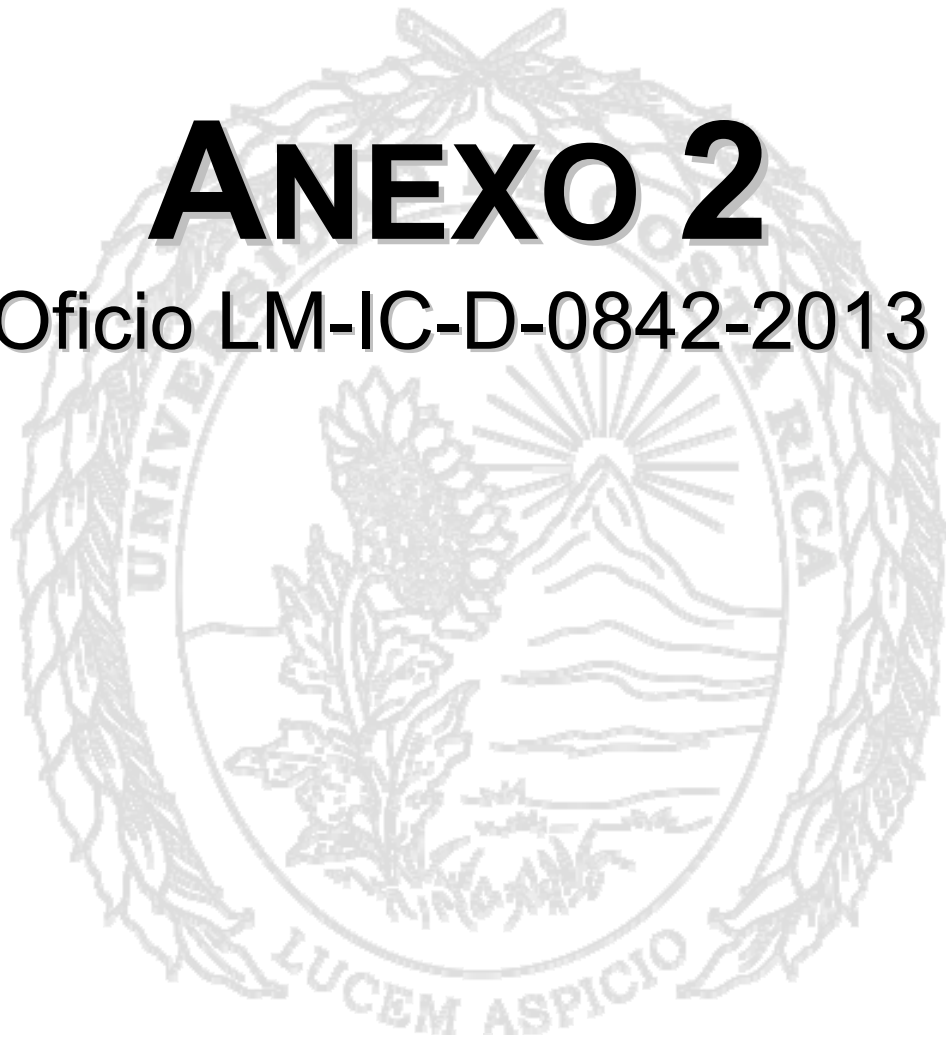


Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR



ANEXO 2

Oficio LM-IC-D-0842-2013





LM-IC-D-0842-13

Ref: Proyecto Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No.01 Carretera Interamericana Norte, sección Cañas - Liberia

Destinatario	Sello (Nombre y firma) - Fecha y Hora	Destinatario	Sello (Nombre y firma) - Fecha y Hora
Ing. Pedro Castro Fernández. Ministro MOPT		Ing. Dahiana Izaguirre Segura CONAVI	
Ing. Cristian Vargas. Gerencia de Conservación de Vías y Puentes. CONAVI	<i>Roxana Soto Muñoz</i> 01/08/13 8:49	Consejo Administrativo CONAVI	<i>Jessenia Arias H</i>
Ing. Kenneth Solano CONAVI		Ing. Guillermo Loria Salazar. Coordinador LanammeUCR	
Ing. Enrique Obed Sánchez CONAVI		Ing. Jenny Chaverri LanammeUCR	
Ing. Vicent Blackamore Rodríguez CONAVI	<i>Vicent</i>	Archivo UAT	

1 AGO 2013 08:20
DIREC. EJECUTIVA



24 de julio de 2013
LM-IC-D-0842-13

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

Estimado señor Ministro:

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.

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	Desviación estándar	IRI (m/km) característico
204+350	204+650	ambos	0,0	3,8
195+260	195+935	ambos	0,67	4,1
194+960	195+785	ambos	0,36	3,7
190+840	192+385	ambos	0,27	2,3
190+170	190+935	ambos	0,24	3,3
187+180	188+600	ambos	0,28	2,8
186+720	187+120	ambos	0,99	3,2
182+400	183+430	ambos	0,96	4,1
182+830	183+643	ambos	0,31	3,4
180+200	180+976	ambos	0,57	3,7
180+180	180+920	ambos	0,47	3,4
170+090	170+820	derecho	0,26	2,2
Promedio				3,3
Desviación estándar				0,63
Coefficiente de variación				0,1881
IRI característico				3,5

Fecha de Medición: 29 de mayo del 2013

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

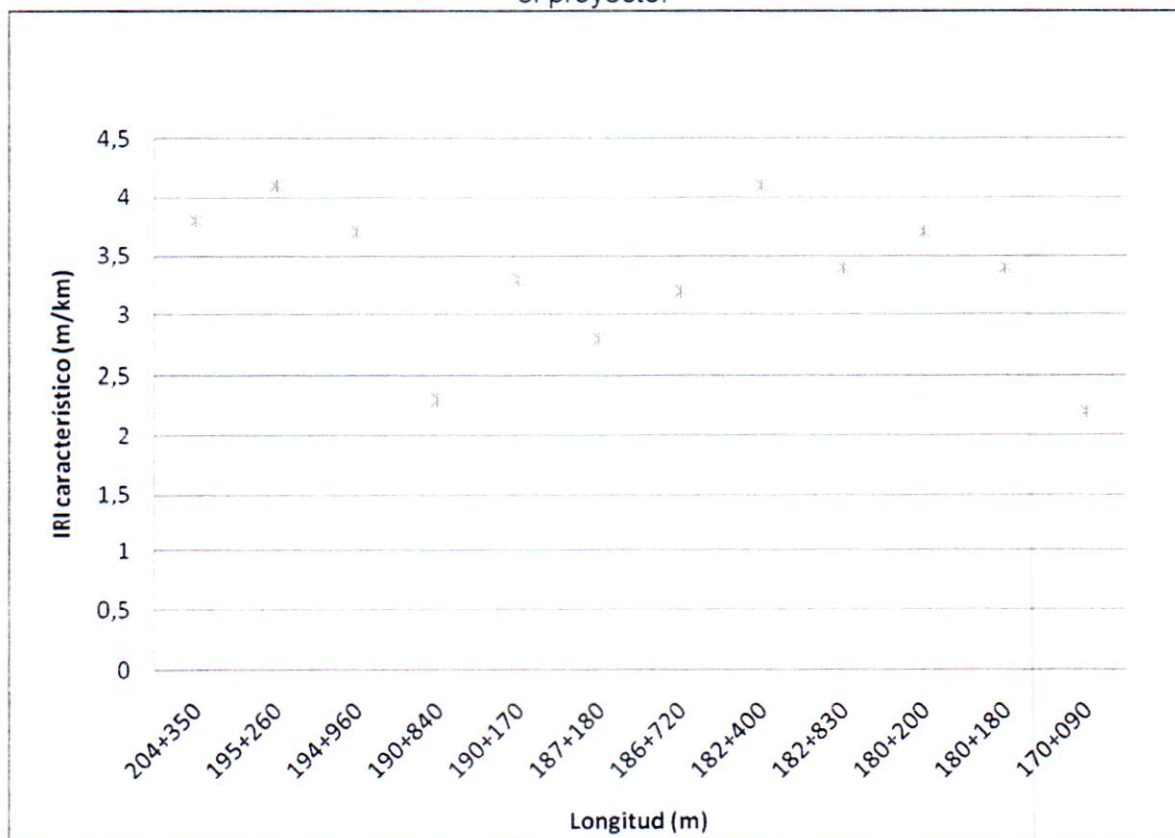


evaluadas, con base de medición de 5 m/km, con el objetivo de apreciar el comportamiento detallado del tramo en estudio.

En la Tabla 1 se puede observá que los valores de IRI característico cada 200 m calculados en las secciones indicadas rondan los valores de 2,2 a 4,1 m/km en la capa de la base estabilizada, con lo que se obtiene un IRI promedio de las secciones de 3,5m/km.

A continuación se presenta el Gráfico 1, donde se puede observar el comportamiento del IRI característico de cada sección analizada de Base Estabilizada BE-35.

Gráfico 1. Valores de IRI característico de secciones analizadas de Base Estabilizada en el proyecto.



Fecha de medición: 29 de mayo del 2013



Cabe mencionar que el valor de 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.

El 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 ruedo 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. Cristian Vargas Quesada, Director Ejecutivo, CONAVI
Ing. Kenneth Solano Carmona, Director Unidad Ejecutora PIV-I
Ing. Enrique Obed Sánchez Marín, Unidad Ejecutora PIV-I
Ing. Luis Guillermo Loria Salazar, PhD, Coordinador General PITRA, LanammeUCR
Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc, Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica-PITRA, LanammeUCR.
Ing. Vincent Blackamore Rodríguez, Dirección Ejecutiva, CONAVI
Ing. Dahianna Izaguirre Segura, Planificación Institucional, CONAVI
Consejo de Administración de CONAVI
archivo UAT, E/AH



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO 1

GRÁFICOS VALORES INDIVIDUALES DE IRI (M/KM) PARA LAS SECCIONES DE BASE ESTABILIZADA ANALIZADAS

A continuación se presenta la Tabla 2, donde de manera esquemática se presentan los gráficos con los datos individuales de IRI para cada sección del proyecto de base estabilizada evaluadas, con base de medición de 5 m/km, con el objetivo de apreciar el comportamiento detallado del tramo en estudio.

Tabla 2. Representación gráfica de IRI (m/km) de secciones de BE-35 del proyecto

Estacionamiento		Gráfico
204+350	204+650	
195+260	195+935	



Tabla 2. Representación gráfica de IRI (m/km) de secciones de BE-35 del proyecto
(... continuación)

Estacionamiento		Gráfico
194+960	195+785	
190+840	192+385	



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

LanammeUCR

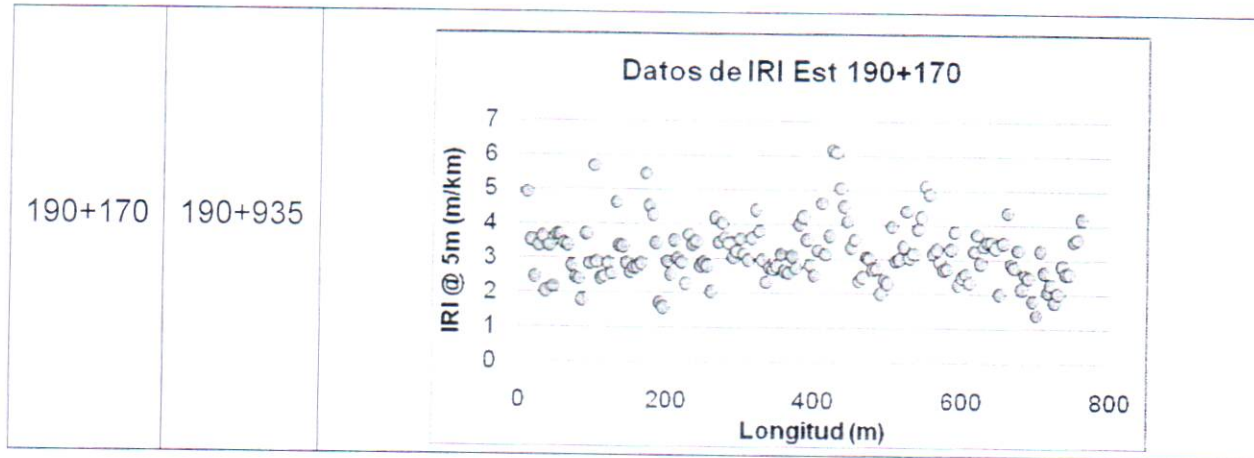




Tabla 2. Representación gráfica de IRI (m/km) de secciones de BE-35 del proyecto
(... continuación)

Estacionamiento		Gráfico
187+180	188+600	<p>Datos de IRI Est 187+180</p>
186+720	187+120	<p>Datos de IRI Est 186+720</p>



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

LanammeUCR

182+400 183+430

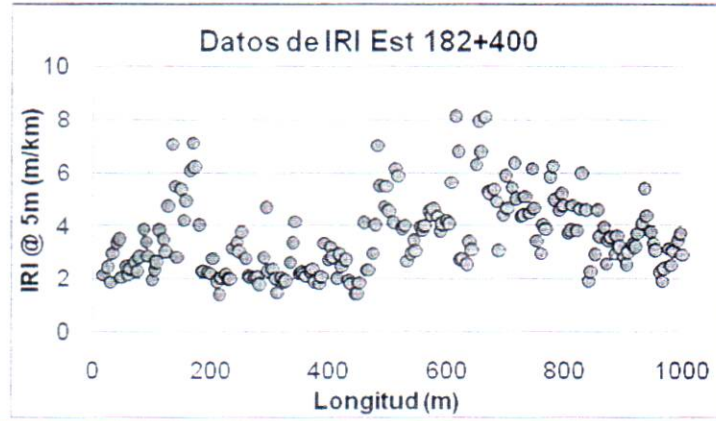


Tabla 2. Representación gráfica de IRI (m/km) de secciones de BE-35 del proyecto
(... continuación)

Estacionamiento		Gráfico
182+830	183+643	<p>Datos de IRI Est 182+830</p>
180+200	180+976	<p>Datos de IRI Est 180+200</p>



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

LanammeUCR

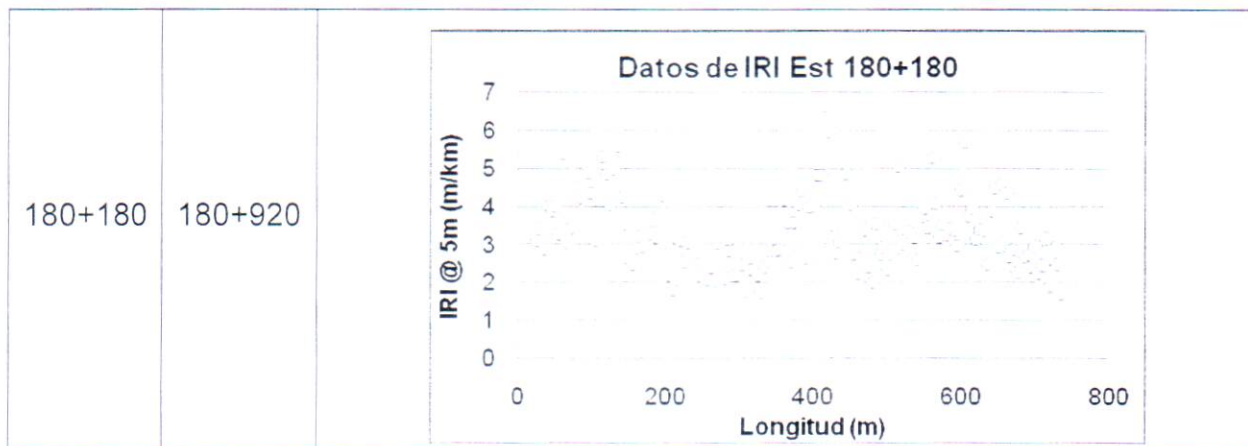




Tabla 2. Representación gráfica de IRI (m/km) de secciones de BE-35 del proyecto
(... continuación)

Estacionamiento		Gráfico
170+090	170+820	<p>Datos de IRI Est 170+090 CD</p> <p>Y-axis: IRI @ 5m (m/km)</p> <p>X-axis: Longitud (m)</p>



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO 2

INFORME I-0609-13 EMITIDOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA CIVIL DEL LANAMMEUCR

No. de informe: I-0609-13

Informe de Ensayo

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

ST-0600 -13

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Auditoría Técnica
Ing. Víctor Cervantes

Proyecto: Cañas-Liberia (Tramos en Base Estabilizada y en Concreto)

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

(**) 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 27 tramos en total. 4 tramos en Concreto y 23 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.

Realizado por: Francisco González. Técnico LanammeUCR

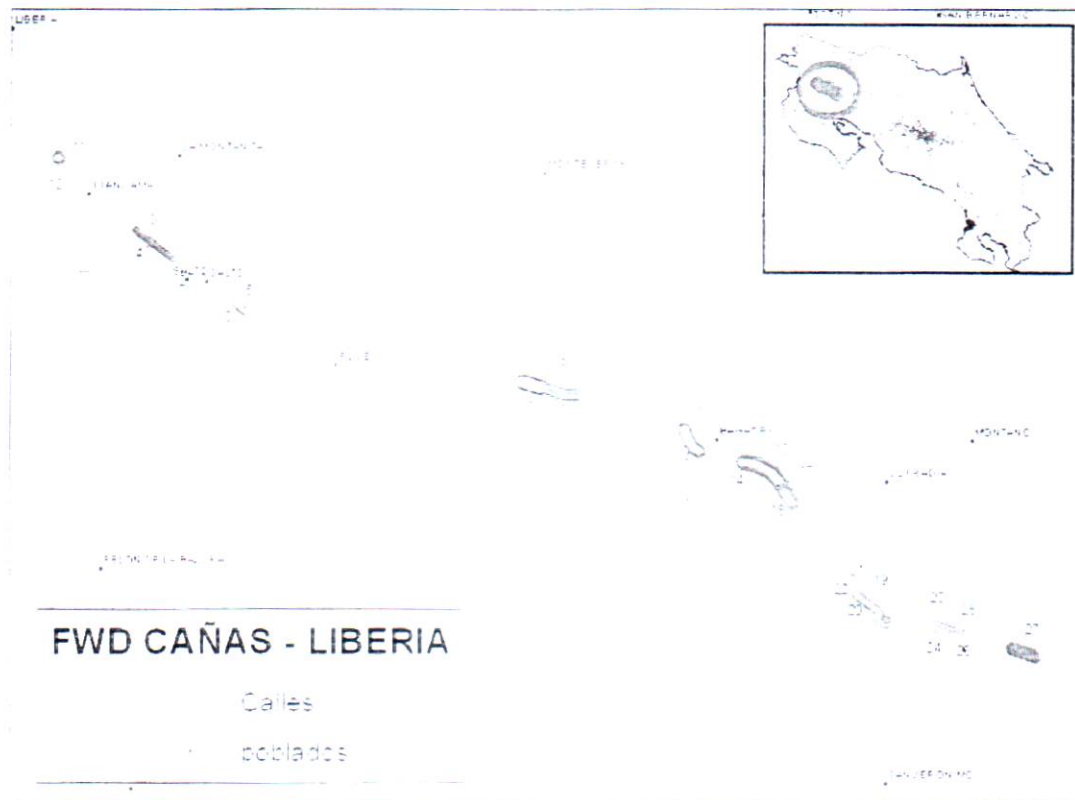
No. de informe: I-0609-13

Fecha de realización del ensayo: 2013-05-29

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

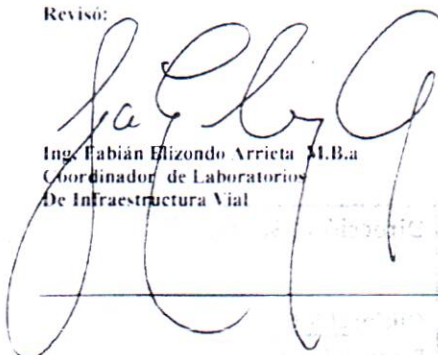
Laboratorio de ensayo
Alcance de Acreditación N° LE-018
Acreditado a partir de: 11.11.2002
Alcance disponible en www.eca.or.cr

No. de informe: I-0609-13

Aclaraciones:

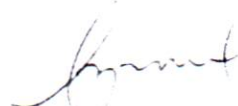
- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para la(s) muestra(s) indicada(s) en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original
- No se permite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