



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR)

Informe final: EIC-Lanamme-INF-0449-2023

Análisis del caso y resumen de los criterios emitidos por el LanammeUCR sobre los estudios preliminares y prácticas constructivas del proyecto: Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39

Documentos de Licitación ITB-CRPC-96800-2019-001



Preparado por:

**Unidad de Auditoría Técnica
LanammeUCR**

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

San José, Costa Rica
Setiembre, 2023





| | |
|---|---|
| 1. Informe final EIC-Lanamme-INF-0449-2023 | 2. Copia No. 1 |
| 3. Título y subtítulo: Análisis del caso y resumen de los criterios emitidos por el LanammeUCR sobre los estudios preliminares y prácticas constructivas del proyecto: Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39 | 4. Fecha del Informe Setiembre 2023 |
| 5. 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 | |
| 6. Notas complementarias --**-- | |
| 7. Resumen <p>El informe EIC-Lanamme-INF-0449-2023 resume los resultados de la auditoría realizada en el proyecto: Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39 y ejecutada entre los meses de agosto 2020 y abril 2022. El contenido del documento abarca los temas relacionados con los estudios previos y prácticas constructivas ejecutadas en el proyecto.</p> <p>Sobre los estudios previos: Los estudios geotécnicos presentados se consideran adecuados, no obstante, se emiten algunas recomendaciones para mejorar el contenido de este documento. El diseño estructural presenta incumplimientos con la normativa vigente, además de que omite información dentro de la memoria de cálculo. Se identificaron deficiencias en la memoria de cálculo hidráulica e hidrológica, cuyos resultados podrían no ser representativos de la zona de estudio.</p> <p><u>Sobre las prácticas constructivas:</u> Se observaron grietas generalizadas en las losas del tablero de la rotonda de La Bandera, los cuales son deterioros prematuros severos para una obra nueva. Se evidenció que el procedimiento de inyección de las grietas en las losas del tablero de la rotonda de La Bandera no mostró la efectividad esperada según los criterios solicitados por la ingeniería estructural y la administración. Además, se identificó que no se utilizó la actualización disponible para la preparación y ensayo de los especímenes de la base estabilizada con cemento para la conformación, controlar el riesgo de agrietamiento y las resistencias fuera del límite superior del material. Y evidenció que se utilizaron diseños de mezcla asfáltica para colocar material en el proyecto sin que antes el diseño fuese avalado por el gestor del proyecto UNOPS y su respectiva comunicación a la administración.</p> | |

| | | |
|---------------------------|-----------------|----------------|
| EIC-Lanamme-INF-0449-2023 | Setiembre, 2023 | Página 2 de 84 |
|---------------------------|-----------------|----------------|





8. Valoración de los resultados

| Hallazgos: Hecho de índole contractual. | Prioridad de atención | |
|---|---|--|
| <p>Hallazgo 1: El procedimiento utilizado para la inyección de las grietas en las losas del tablero de concreto reforzado de la rotonda de la bandera, no garantiza la penetración total de la inyección en las grietas y, por lo tanto, no se garantiza la integridad y durabilidad del tablero.</p> | <p>Prioridad de atención ■ Muy alta ■ Alta ■ Media ■ Baja</p> | |
| <p>Hallazgo 2: Se evidenció que se colocó mezcla asfáltica en caliente con diseños de mezcla actualizados no aprobados a la fecha de colocación.</p> | <p>Prioridad de atención ■ Muy alta ■ Alta ■ Media ■ Baja</p> | |
| Observaciones: Hecho de índole no contractual pero que obedece a buenas prácticas de ingeniería. | Prioridad de atención | |
| <p>Observación 1: Se identifican oportunidades de mejora en cuanto al contenido de los estudios preliminares del proyecto.</p> | <p>Prioridad de atención ■ Muy alta ■ Alta ■ Media ■ Baja</p> | |
| <p>Observación 2: Se evidenció que el criterio de ancho de reparación de grieta indicado en los procedimientos es mayor al que recomienda la normativa internacional.</p> | <p>Prioridad de atención ■ Muy alta ■ Alta ■ Media ■ Baja</p> | |
| <p>Observación 3: Se evidenciaron oportunidades de mejora en las prácticas constructivas y de control para evitar el agrietamiento en las losas del tablero de la rotonda de la Bandera.</p> | <p>Prioridad de atención ■ Muy alta ■ Alta ■ Media ■ Baja</p> | |
| <p>Observación 4: Se evidenció que la Administración no implementó el método de ensayo de la actualización del Decreto Ejecutivo No. 40333-MPT publicado en La Gaceta, alcance No. 99 del 9 de mayo de 2017, de la sección 302.03 diseño de mezcla (equivalente a BE-25) CR-2010, para la realización del moldeo de especímenes de base estabilizada con cemento, lo cual incidió en el análisis comparativo de resistencias para la evaluación estadística del material.</p> | <p>Prioridad de atención ■ Muy alta ■ Alta ■ Media ■ Baja</p> | |
| <p>9. Palabras clave Estudios preliminares, estudios hidrológicos, estudios geotécnicos, diseño estructural, estudios previos, prácticas constructivas, auditoría, infraestructura vial.</p> | <p>10. Nivel de seguridad: Ninguno</p> | <p>11. Núm. de páginas 84</p> |



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Análisis del caso y resumen de los criterios emitidos por el LanammeUCR sobre los estudios preliminares y prácticas constructivas del proyecto: Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39

Departamento encargado del proyecto: CONAVI-Unidad Ejecutora del Programa de Obras Estratégicas de Infraestructura Vial (POEIV).

Supervisión del proyecto: Consorcio BAC – Vieto.

Laboratorio de verificación de calidad: Laboratorio Vieto & Asociados S.A.

Empresa contratista: Puentes y Calzadas Grupo de Empresas S.A.

Laboratorios de control de calidad: Castro & De la Torre S.A. y LGC Ingeniería de pavimentos S.A.

Monto original del contrato: US \$ 21 127 213,00

Monto final del contrato: US \$ 23 926 115,95

Plazo original de ejecución: 460 días.

Plazo final de ejecución: 475 días.

Proyecto: Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39.

Director General LanammeUCR: Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD.

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

Auditores:

Ing. Fiorella Murillo Contreras, Auditora Técnica Líder

Ing. Francisco Fonseca Chaves, Auditor Técnico Adjunto

Ing. Sergio Guerrero Aguilera, Auditor Técnico Adjunto

Expertos técnicos:

Ing. Luis Carlos Alfaro Monge, MSc (ya no labora en la institución)

Ing. Ana Monge Sandí, MSc

Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD

Asesoría Legal LanammeUCR:

Lic. Nidia Segura Jiménez

Lic. Giovanni Sancho Sanz

Alcance del informe:

El alcance del informe consistió en el análisis, resumen y evaluación de los estudios preliminares y de las prácticas constructivas del proyecto.



TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 8 |
| 2. Objetivo general de las auditorías técnicas..... | 8 |
| 3. Objetivos del informe..... | 9 |
| 3.1. Objetivo General | 9 |
| 3.2. Objetivos Específicos | 9 |
| 4. Alcance del informe | 9 |
| 5. Antecedentes..... | 10 |
| 6. Metodología..... | 15 |
| 7. Descripción del proyecto | 15 |
| 8. Audiencia a la parte auditada para análisis del informe en su versión preliminar EIC-Lanamme-INF-0449-2023. | 17 |
| 9. Resultados de la Autoría Técnica..... | 18 |
| Sobre la revisión de los estudios previos del proyecto. | 18 |
| Observación 1: Se identifican oportunidades de mejora en cuanto al contenido de los estudios preliminares del proyecto | 18 |
| Sobre las prácticas constructivas del proyecto | 29 |
| Hallazgo 1: El procedimiento utilizado para la inyección de las grietas en las losas del tablero de concreto reforzado de la rotonda de La Bandera, no garantiza la penetración total de la inyección en las grietas y por lo tanto, no se garantiza la integridad y durabilidad del tablero. | 29 |
| Observación 2: Se evidenció que el criterio de ancho de reparación de grieta indicado en los procedimientos es mayor al que recomienda la normativa internacional. | 45 |
| Observación 3: Se evidenciaron oportunidades de mejora en las prácticas constructivas y de control para evitar el agrietamiento en las losas del tablero de la rotonda de La Bandera | 46 |
| Observación 4: Se evidenció que la Administración no implementó el método de ensayo de la actualización del Decreto Ejecutivo No. 40333-MOPT publicado en La Gaceta, Alcance No. 99 del 9 de mayo de 2017, de la sección 302.03 Diseño de mezcla (equivalente a BE-25) CR-2010, para la realización del moldeo de especímenes de base estabilizada con cemento, lo cual incidió en el análisis comparativo de resistencias para la evaluación estadística del material..... | 50 |
| Hallazgo 2: Se evidenció que se colocó mezcla asfáltica en caliente con diseños de mezcla actualizados no aprobados a la fecha de colocación..... | 57 |
| 10. Conclusiones | 60 |
| Sobre la revisión de los estudios previos del proyecto | 60 |
| Sobre las prácticas constructivas del proyecto | 61 |
| 11. Recomendaciones..... | 62 |
| Sobre la revisión de los estudios previos del proyecto | 62 |
| Sobre las prácticas constructivas del proyecto | 62 |
| 12. Referencias | 63 |
| 13. Anexos..... | 66 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación del proyecto | 16 |
| Figura 2. Carta de plasticidad modificada: sitio del proyecto de la intersección de la Rotonda de la Bandera | 28 |
| Figura 3. Grietas en las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 14 de enero 2022. | 30 |
| Figura 4. Grietas interconectadas y en distintas direcciones y en diferentes ubicaciones en las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 25 de enero 2022. | 31 |
| Figura 5. Mediciones de achos de grietas en las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 25 de enero 2022..... | 32 |
| Figura 6. Ruteo de grietas en las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 2 de febrero 2022..... | 33 |
| Figura 7. Primer tratamiento para las grietas en las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 4 de febrero 2022. | 33 |
| Figura 8. Agujero del núcleo extraído sobre una grieta del tablero de concreto reforzado donde se observó sellado parcial de las grietas. Fecha 2 de febrero 2022. | 34 |
| Figura 9. Primeros núcleos extraídos por el LanammeUCR de las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 7 de febrero 2022..... | 34 |
| Figura 10. Separación entre boquillas de inyección de aproximadamente 24 cm, 27 cm y 25 cm. Fecha: 14 y 17 marzo 2022. | 40 |
| Figura 11. Separación entre boquillas de inyección de aproximadamente 27 cm. Fecha: 17 marzo 2022..... | 40 |
| Figura 12. Grietas identificadas que no fueron inyectadas en las losas de la rotonda de La Bandera, próximas a los paños 33 y 34 (costado sur), y núcleo extraído el 16 de marzo que evidencia la presencia de grietas y donde el proceso de inyección no fue satisfactorio. Fecha: 16 marzo 2022..... | 41 |
| Figura 13. Núcleos extraídos por el LanammeUCR con sellado de grietas incompleto o nulo. Fecha: 21 marzo 2022..... | 42 |
| Figura 14. Densidad de grietas e inyecciones en las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: marzo 2022..... | 44 |
| Figura 15. Razón de evaporación de humedad superficial. Fuente: MOPT, CR-2010. | 47 |
| Figura 16. Colado de losas en el viaducto Derecho UCR. Fecha: 11 marzo 2022. | 49 |
| Figura 17. Energía de compactación y diferentes equipos del Informe LM-PI-UIIT-079-R2 | 54 |
| Figura 18. Línea cronológica de la emisión de los diseños de mezcla asfáltica, colocación de mezcla asfáltica y notas del Gestor del Proyecto enviando diseños a la Administración | 59 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Resumen de correspondencia enviada y recibida..... | 13 |
| Tabla 2. Resumen de los resultados de los núcleos obtenidos por el LanammeUCR de las losas de la rotonda de La Bandera. Fuente: Informe de ensayo EIC-Lanamme-INF-0451-2022..... | 39 |
| Tabla 3. Guía para anchos de fisura razonables, hormigón armado bajo cargas de servicio. Fuente: ACI 224R-01..... | 46 |
| Tabla 4. Comparación entre la actualización del CR-2010 en el 2017 y las especificaciones aplicadas en el proyecto en el documento Propuesta de especificaciones de materiales y construcción de base estabilizada con cemento para el proyecto de intercambio de La Bandera. | 52 |
| Tabla 5. Comparación de energía de compactación en campo y en laboratorio. | 53 |
| Tabla 6. Energía de compactación de los resultados experimentales usados en el estudio de Gurtug y Sridharan (2004)..... | 55 |



INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.

Análisis del caso y resumen de los criterios emitidos por el LanammeUCR sobre los estudios preliminares y prácticas constructivas del proyecto: Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39

1. INTRODUCCIÓN

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.

2. OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

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

Para este informe en particular se busca de forma general evaluar la calidad de los estudios preliminares, así como los procesos constructivos del paso a desnivel y otras obras consideradas dentro del proyecto comprendido en el contrato de “Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39” con el fin de fiscalizar la eficiencia en la gestión, ejecución, desempeño y durabilidad





requerida por las obras de acuerdo con las especificaciones establecidas para el proyecto, así como con las mejores prácticas de la ingeniería de carreteras.

3. OBJETIVOS DEL INFORME

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad de los estudios preliminares y prácticas constructivas del proyecto: Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la calidad y contenido de los estudios geotécnicos, estudios en el área de hidráulica e hidrología y diseño estructural de la obra contratada.
- Verificar si las prácticas constructivas se ajustan y cumplen tanto con la normativa vigente como con las mejores prácticas de la ingeniería mediante diferentes visitas al proyecto en el periodo de ejecución de esta Auditoría.

4. ALCANCE DEL INFORME

El alcance del informe contempla la recopilación de los hallazgos y observaciones que se evidenciaron durante la revisión de los diseños y estudios preliminares, los cuales fueron informados a la Administración previo al proceso constructivo y durante el mismo. Los estudios preliminares analizados son: estudios hidrológicos e hidráulicos, estudios geotécnicos y el diseño estructural del paso a desnivel. Estas revisiones se realizaron con el apoyo de expertos técnicos del LanammeUCR consultados por el equipo auditor.

La evaluación de los procesos constructivos se realizó mediante visitas técnicas puntuales y aleatorias y se valoró de conformidad con la normativa vigente en el contrato del proyecto y sus órdenes de modificación, así como con las mejores prácticas de la ingeniería. El periodo de ejecución de esta auditoría técnica es el comprendido entre los meses de agosto 2020 y abril 2022, durante la fase previa y la etapa constructiva del proyecto.

Finalmente se destaca que, la auditoría técnica que realiza el LanammeUCR no puede compararse, ni considerarse como una actividad de control de calidad, la cual le compete exclusivamente al contratista como parte de su obligación contractual y que debe ser ejecutada como una labor de carácter rutinario en el proyecto.

Tampoco puede conceptualizarse como una labor de verificación de calidad o supervisión, que es de entera responsabilidad de la Administración. Es función del CONAVI analizar, con las partes involucradas, las consecuencias expuestas en los hallazgos y observaciones incluidas en este informe de auditoría técnica.



5. ANTECEDENTES

El proyecto auditado corresponde a la **“Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39”**, se encuentra a cargo de la Unidad Ejecutora del Programa de Obras Estratégicas de Infraestructura Vial del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). Esta Unidad Ejecutora tiene como objetivo desarrollar varios proyectos dentro del alcance del Contrato de Préstamo No. 2080 suscrito entre el CONAVI y el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE).

El proyecto forma parte del alcance del Memorando de Acuerdo (MdA) entre el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) y la Oficina de Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS), el cual comprende la construcción y supervisión de tres pasos a desnivel sobre la Ruta Nacional No. 39 (Carretera de Circunvalación) en la Rotonda de las Garantías Sociales, Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera e Intersección Guadalupe, todos a cargo de la Unidad Ejecutora del Programa de Obras Estratégicas de Infraestructura Vial. La gestión de este proyecto fue realizada por la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS) como figura encargada del gerenciamiento integral del proyecto de estudios previos, diseño y construcción incluyendo la administración, contratación, supervisión y control de calidad de los diseños y la construcción de las obras.

Previo a esta auditoría, el LanammeUCR realizó la fiscalización de los trabajos ejecutados en los proyectos: rotonda de las Garantías Sociales e intersección Guadalupe, ambos sobre Ruta Nacional No. 39. Dichas obras forman parte del alcance del Memorando de Acuerdo (MdA) y del mismo Convenio de Asistencia Técnica y el Fortalecimiento Institucional aprobado entre CONAVI y UNOPS, al igual que el Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera. Es por ello que al formar parte del alcance del Memorando de Acuerdo (MdA) entre CONAVI y UNOPS, y del Convenio de Asistencia Técnica, se consideran como proyectos de los cuales se podían extraer oportunidades de mejora para ser aplicados en la obra siguiente. A partir de la auditoría realizada en el proyecto Construcción del Paso a Desnivel en la Intersección de las Garantías Sociales se emitieron dos informes:

- LM-AT-044-2019 en el mes de julio 2020

([https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2120/Informe Final LM-AT-044-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2120/Informe_Final_LM-AT-044-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y))

El primer informe LM-AT-044-2019 del proyecto Construcción Paso a Desnivel en la Rotonda Garantías Sociales, Ruta Nacional No. 39, trata sobre la evaluación de la calidad de los materiales, la observación de las prácticas constructivas y el diseño de pavimentos del proyecto durante el periodo de ejecución de la auditoría entre los meses de marzo 2019 a febrero de 2020, donde se evidenciaron algunas oportunidades de mejora de la Unidad Ejecutora en cuanto al cumplimiento de especificaciones y la gestión de los contratos de





Supervisión y construcción de la obra. En dicho informe se identificaron debilidades del proceso constructivo que sirvieron de fundamento para explicar los resultados del diagnóstico de desempeño a la estructura de pavimento realizado en el segundo informe LM-INF-IC-D-0010-2020.

- LM-INF-IC-D-0010-2020 en el mes de diciembre 2020

(<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2167/Informe%20LM-INF-IC-D-0010-2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y>)

El informe LM-INF-IC-D-0010-2020, tal como se mencionó anteriormente, desarrolla un análisis de desempeño de la estructura de pavimento basado en ensayos de campo posterior a la ejecución de las obras, haciendo énfasis en la capacidad funcional (regularidad superficial), estructural y de fricción superficial del proyecto. Además, se hace una recopilación de los principales hallazgos y observaciones realizados por la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del LanammeUCR durante el periodo de la auditoría.

Los resultados del análisis determinaron incumplimiento del valor máximo de media fija de IRI en los cuatro carriles del Eje 1 del proyecto, así como la identificación del incumplimiento de dos valores individuales en dos de los cuatro carriles evaluados. Además de un proceso de gestión irregular con la evaluación del parámetro de regularidad superficial.

Cabe mencionar que muchas de las recomendaciones y oportunidades emitidas en el informe fueron consideradas como lecciones aprendidas por la Unidad Ejecutora y UNOPS, por lo que fueron gestionadas de forma distinta durante el proceso de ejecución del proyecto Construcción Paso a Desnivel en la Intersección Guadalupe, Ruta Nacional No. 39.

Así mismo, previo a esta auditoría, el LanammeUCR realizó la fiscalización de los trabajos ejecutados en el proyecto Construcción Paso a Desnivel en la Intersección Guadalupe, Ruta Nacional No. 39. A partir de la auditoría realizada se emitieron dos informes:

- LM-INF-EIC-D-0001-2021 en el mes de agosto 2021

(<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2257>)

En el primer informe LM-INF-EIC-D-0001-2021 del proyecto Construcción Paso a Desnivel en la Intersección Guadalupe, Ruta Nacional No. 39 aborda temas relacionados con los estudios preliminares y especificaciones del proyecto, procesos constructivos, gestión y evaluación de la calidad de materiales. Sobre los estudios preliminares se identificaron oportunidades de mejora en relación con los contenidos y justificaciones técnicas empleadas en los apartados de hidrología, pavimentos y estructuras del proyecto. Por otro lado, en relación con el estudio de las especificaciones para el desarrollo de actividades topográficas se identificaron debilidades y oportunidades de mejora. Respecto al proceso constructivo se evidenció la colocación de tuberías con deterioros de severidad leve en el proyecto, un caso aislado de colocación de concreto con distinta resistencia según lo especificado en planos, agrietamientos y fisuras en barreras de contención y muros



asociados a prácticas constructivas. Además, se identificó la necesidad de un monitoreo continuo de los drenajes de la pantalla de pilotes, oportunidades de mejora en el proceso constructivo de bases estabilizadas y como aspecto positivo, la metodología adoptada en la colocación de la capa de ruedo en beneficio del IRI del proyecto.

En la parte de gestión se evidenció de forma positiva la incorporación de aplicaciones digitales para el registro de labores de inspección en el proyecto. Por último, en la parte de calidad a partir del análisis de ensayos realizados por la Supervisión y el LanammeUCR, se determinó una tendencia al cumplimiento del concreto y el acero. Se evidenciaron incumplimientos en relación con la graduación de subbase granular, resistencia a la compresión de la base estabilizada, parámetro de VFA en las muestras de mezcla asfáltica de TMN de 19 mm y fatiga en mezcla asfáltica utilizada como capa intermedia, esta última según los resultados de ensayos realizados por el LanammeUCR.

- INF-LM-EIC-D-0005-2021 en el mes de mayo de 2022

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2348>

Por último, en cuanto al segundo informe INF-LM-EIC-D-0005-2021 desarrolla un análisis de desempeño de la estructura de pavimento basado en ensayos de campo posterior a la ejecución de las obras, haciendo énfasis en la capacidad funcional (regularidad y fricción superficial) y estructural del pavimento del proyecto. Además, se desarrollan dos hallazgos relacionados con el desempeño de los trabajos ejecutados una vez entrado en funcionamiento el proyecto y un hallazgo en la seguridad vial del proyecto realizados por la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del LanammeUCR durante el periodo de la auditoría.

Específicamente, en cuanto a la regularidad superficial del proyecto, se observó el cumplimiento en valores individuales de IRI y media fijas de los carriles del tronco principal del proyecto, a excepción de la media fija de IRI del carril externo en el sentido San Pedro - Calle Blancos la cual presentó incumplimiento. En relación con la condición de fricción superficial, se evidenció una condición buena del parámetro de fricción superficial en 4 carriles del tronco principal del proyecto. Por otra parte, en cuanto a la capacidad estructural del proyecto, se identificaron algunas de las secciones de la obra con un riesgo potencial bajo de que la estructura de pavimento tenga una capacidad estructural menor a la requerida para satisfacer las cargas de tránsito a las que se va a ver sometida durante toda la vida útil establecida para el proyecto, especialmente en los extremos. En relación con el desempeño de los trabajos ejecutados, se identificaron deterioros prematuros en la capa de ruedo de la rampa Guadalupe - San Pedro ubicada en el eje 9 del proyecto. Finalmente, referente al tema de seguridad vial se mencionan aspectos relacionados con documentación técnica de los sistemas de contención vehicular.

Como parte de la Auditoría Técnica que el LanammeUCR realiza al proyecto y en aras de contribuir al mejoramiento continuo de la gestión de la Administración, se emitieron varios



oficios y notas informe. En la Tabla 1 se muestra un resumen de la correspondencia del proyecto.

Tabla 1. Resumen de correspondencia enviada y recibida.

| Oficio / Nota informe | Fecha | Asunto | Respuesta |
|-----------------------|------------|---|--|
| LM-IC-D-0285-2020 | 26/3/2020 | Consultas sobre los estudios hidrológicos | POE-10-2020-0402 96800-200507-ER-106 |
| LM-IC-D-0672-2020 | 14/8/2020 | Estudios de suelos y remisión de informe LM-IG-06-19 | POE-09-2020-0717 |
| LM-IC-D-0691-2020 | 8/9/2020 | Observaciones a las estimaciones de tránsito y diseño de pavimentos | POE-09-2020-0747 |
| LM-IC-D-0102-2021 | 1/2/2021 | Remisión del informe LM-IC-D-0102-21 | POE-09-2021-0130 |
| LM-IC-D-0114-2021 | 9/2/2021 | Respuesta al POE-09-2020-0747, cantidades firmes y pavimentos, retrocálculo de módulos y número estructural pavimentos | POE-09-2022-0314 |
| LM-EIC-D-0281-2021 | 16/4/2021 | Remisión del informe LM-EIC-D-0281 | POE-09-2021-0331 96800-210426-ER-131 |
| LM-EIC-D-0377-2021 | 20/5/2021 | Remisión del informe LM-EIC-PIG-I-0012-2021 | POE-09-2021-0430 96800-210608-ER-161 |
| LM-EIC-D-0518-2021 | 6/7/2021 | Remisión de los informes LM-EIC-D-0518-2021 | POE-09-2021-0508 |
| LM-EIC-D-0614-2021 | 19/7/2021 | Remisión del informe LM-EIC-D-0614-2021 | POE-09-2021-0540 POE-09-2020-0587 96800-210802-ER-200 |
| LM-EIC-D-0696-2021 | 19/8/2021 | Remisión del informe LM-PIE-34-2021 | POE-09-2021-0663 96800-210921-ER-259 |
| LM-EIC-D-0697-2021 | 1/9/2021 | Remisión de informes de la Bandera | POE-09-2021-0659 |
| LM-EIC-D-0782-2021 | 10/9/2021 | Remisión de informe de ensayo de materiales I-1044-2021, varillas de acero | No requiere respuesta |
| LM-EIC-D-0780-2021 | 21/9/2021 | Consulta sobre el alcance del oficio LM-PI-025-2018 y solicitud de diseños de base estabilizada con cemento y mezcla asfáltica en caliente | POE-09-2021-0684 POE-09-2021-0750 POE-09-2022-0089 POE-09-2022-0190 96800-211001-ER-273 96800-211103-ER-305 96800-220215-ER-047 96800-220328-ER-081 |
| LM-EIC-D-0803-2021 | 22/10/2021 | Remisión del Informe EIT La Bandera 28-4-2021 Observaciones de topografía emitidas por la EIT | POE-09-2021-0766 POE-09-2021-0797 96800-211105-ER-308 |
| LM-EIC-D-0807-2021 | 2/11/2021 | Remisión Informe LM-EIC-PIG-I-25-2021 Informe de revisión de los resultados de los ensayos de integridad a pilotes y de la propuesta de muro de relleno reforzado en los bastiones 1 y 2 del viaducto | POE-09-2021-0840 |



| Oficio / Nota informe | Fecha | Asunto | Respuesta |
|-----------------------|-----------|--|--|
| EIC-Lanamme-90-2022 | 8/2/2022 | Remisión de informe de ensayo de materiales y el informe EIC-Lanamme-INF-0064-2022 | POE-09-2022-0091 |
| EIC-Lanamme-74-2022 | 8/2/2022 | Respuesta al POE-09-2021-0659 sobre los torones de acero y las varillas de refuerzo No.3 y No. 5 | POE-09-2022-0075 |
| EIC-Lanamme-146-2022 | 24/2/2022 | Observaciones sobre las grietas en la losa de concreto reforzado de la rotonda | POE-09-2022-0110 POE-09-2022-0139 |
| EIC-Lanamme-147-2022 | 25/2/2022 | Solicitud de información en relación con los oficios POE-09-2021-0663 y POE-09-2021-0700 de la UE concierne al oficio LM-EIC-D-0696-2021 con observaciones del diseño estructural del viaducto | POE-09-2022-0126 POE-09-2022-0150 96800-220304-ER-068 96800-220314-ER-072 |
| EIC-Lanamme-189-2022 | 21/3/2022 | Solicitud de información de colocación de mezcla asfáltica y base estabilizada con cemento | POE-09-2022-0191 96800-220328-ER-082 |
| EIC-Lanamme-247-2022 | 25/3/2022 | Solicitud de la lista de singularidades de IRI del proyecto | POE-09-2022-0208 |
| EIC-Lanamme-243-2022 | 28/3/2022 | Remisión de informes de ensayo de mezcla asfáltica en caliente de 12,5 mm modificada con polímero | POE-09-2022-0229 |
| EIC-Lanamme-363-2022 | 10/5/2022 | Remisión de Informes EIC-Lanamme-INF-0122-2022 Informe de visita de campo. Observaciones acerca de: el muro de pantalla de pilotes, su impermeabilización y sus reparaciones, los drenajes del muro y los drenajes californianos propuestos para el muro de pantalla de pilotes y los muros de relleno reforzado | POE-09-2022-0305 |
| EIC-Lanamme-307-2022 | 11/5/2022 | Observaciones sobre los muros de suelo reforzado del viaducto UCR | POE-09-2022-0311 |
| EIC-Lanamme-422-2022 | 20/5/2022 | Solicitud de la actualización del diseño de pavimentos relacionado con los oficios LM-IC-D-0691-20 observaciones estimaciones de tránsito y diseño de pavimentos POE-09-2020-0747 y LM-IC-D-0114-21 | POE-09-2022-0314 |
| EIC-Lanamme-427-2022 | 1/7/2022 | Observaciones al cierre del proyecto | POE-09-2022-0414 |
| EIC-Lanamme-610-2022 | 19/7/2022 | Solicitud de los resultados de la evaluación de IRI realizados por la supervisión y autocontrol del proyecto | POE-02-2022-0436 |
| EIC-Lanamme-805-2022 | 30/9/2022 | Remisión de resultados de IRI | POE-09-2022-0575 |
| EIC-Lanamme-275-2023 | 18/4/2023 | Remisión informe preliminar | POE-09-2023-0173 96800-230517-DF-030 |



6. METODOLOGÍA

La fiscalización que realiza la Auditoría Técnica del LanammeUCR es un proceso independiente, basado en normas y procedimientos establecidos, aplicando criterios objetivos en procura de lograr el cumplimiento del alcance y los objetivos definidos para cada uno de los estudios desarrollados.

Esta labor se efectúa en un proceso de auditoría que se orienta en recopilar y analizar evidencias durante un periodo definido, así como identificar posibles elementos y aspectos que puedan afectar la calidad del proyecto.

Dentro de las actividades que fueron desarrolladas por el equipo auditor consistieron en evaluar los estudios preliminares del proyecto, revisiones que se realizaron con el apoyo de expertos técnicos destacados en distintas unidades del LanammeUCR. Las actividades posteriores consistieron en visitar los diversos frentes de trabajo, hacer una revisión de los documentos contractuales y de diseño del proyecto, programar muestreos a los materiales y analizar los resultados de los ensayos desarrollados a lo largo de la ejecución de la obra para la verificación de la calidad de los materiales, de las prácticas constructivas y desempeño.

Aunado a lo anterior, se destaca que, en el periodo comprendido por el presente proceso de Auditoría, se realizaron más de 67 visitas técnicas al proyecto, se emitieron 28 oficios o notas informes y 115 informes de laboratorio de diferentes materiales tales como acero, concreto, cemento, materiales granulares, base estabilizada con cemento, mezcla asfáltica, agregados y asfalto.

Una vez realizadas las revisiones de los estudios preliminares y las visitas, se emitieron notas informe que compilaron las principales conclusiones y recomendaciones, de manera que la Administración pudiera brindar, de ser requerido, descargo al contenido de las notas. Una vez analizadas las respuestas de la Administración, se procedió a la confección de este informe.

7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en la construcción de un paso a desnivel y un viaducto, los cuales fueron construidos en la rotonda de La Bandera y en la intersección de la ruta nacional N° 39 con la entrada a la Facultad de Derecho de la Universidad de Costa Rica. La obra se encuentra señalada como una de las metas del Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018, apartado 5.12 Transporte e Infraestructura y fue declarado de interés público por medio del Decreto No. 41302-MINAE-MOPT publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 168 del 19 de julio de 2018.

El objetivo primordial del proyecto es mejorar las condiciones viales, de seguridad y comodidad de los usuarios de la Ruta de Circunvalación (Ruta No. 39) mediante la

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| EIC-Lanamme-INF-0449-2023 | Setiembre, 2023 | Página 15 de 84 |
|---------------------------|-----------------|-----------------|



construcción de un paso a desnivel para permitir el curso de la Carretera de Circunvalación por debajo de la nueva rotonda de La Bandera, incluyendo la construcción originalmente de una alcantarilla de cuadro prefabricada para la quebrada Los Negritos.

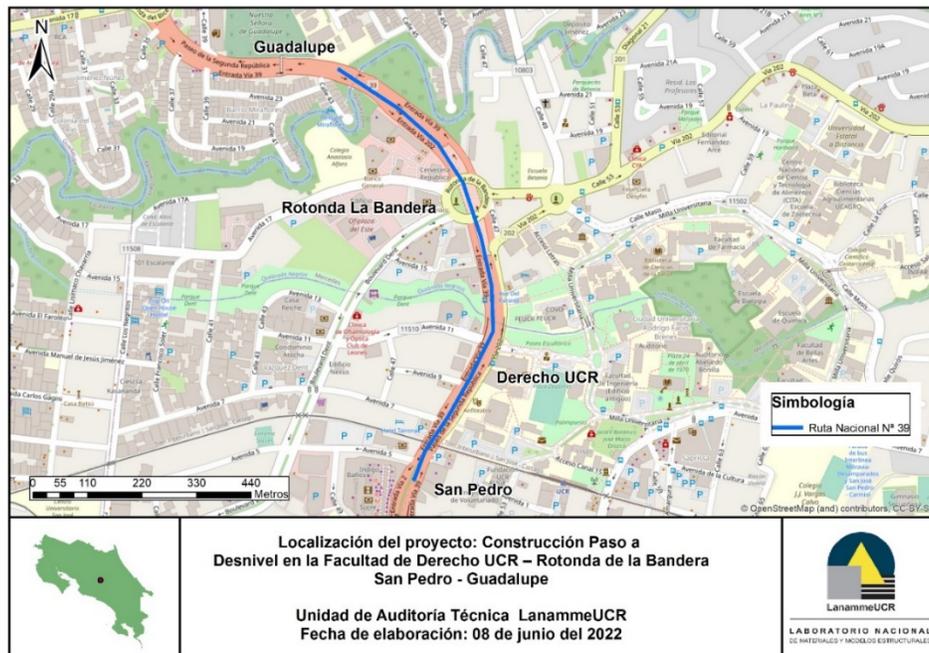
El proyecto se localiza en la provincia de San José, cantón Montes de Oca, específicamente en la intersección de las Rutas Nacionales No. 39 y 202 con la ruta de travesía No. 11509. El proyecto abarca las obras comprendidas entre el estacionamiento 0+000 al 0+798.230 – fin del eje 1, se excluye el puente del río Torres.

En el tramo central del proyecto se construyó también un viaducto a la altura de la Av. 13, que ayude a los movimientos de retorno, ingreso y giros a izquierda en una zona de alto tránsito por las instalaciones universitarias.

El alcance de esta licitación contempla las siguientes obras de infraestructura vial:

- Paso a desnivel en la rotonda de La Bandera
- Viaducto en la entrada de la Facultad de Derecho de la Universidad de Costa Rica
- Reconstrucción de vías marginales.
- Rampas.
- Alcantarilla de cuadro prefabricada en quebrada Los Negritos.
- Obras complementarias.

Figura 1. Ubicación del proyecto





8. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSIÓN PRELIMINAR EIC-LANAMME-INF-0449-2023.

Como parte de los procedimientos de Auditoría Técnica, mediante el oficio EIC-Lanamme-275-2023 del 18 de abril de 2023, se envió el presente informe en versión preliminar, identificado como EIC-Lanamme-INF-0449-2023, a la parte auditada para su análisis y, en caso de requerirse, se procediera a esclarecer aspectos que no hayan sido considerados durante el proceso de ejecución de la auditoría; para tales efectos se otorgó un plazo de 15 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe, es decir con plazo al 10 de mayo del 2023.

El día miércoles 26 de abril de 2023 se realizó con el auditado la presentación oral de los resultados del informe preliminar por medio de una plataforma virtual con el fin de comentar aspectos relacionados con su contenido. A esta actividad asistieron los siguientes participantes:

| | |
|----------------------------|---|
| Francini Chinchilla Torres | Unidad Ejecutora POEIV-BCIE, CONAVI |
| Carlos Jiménez González | Unidad Ejecutora POEIV-BCIE, CONAVI |
| Reynaldo Vargas Soto | Auditoría Interna, CONAVI |
| Susana Cárdenas | UNOPS |
| Denis Fernández Mesén | UNOPS |
| Ana Monge Sandí | PIG, LanammeUCR |
| Francisco Rodríguez | PIE, LanammeUCR |
| Wendy Sequeira Rojas | Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica LanammeUCR |
| Francisco Fonseca Chaves | Auditor técnico LanammeUCR |
| Sergio Guerrero Aguilera | Auditor técnico LanammeUCR |
| Fiorella Murillo Contreras | Auditora técnica LanammeUCR |
| Luis Rodríguez Solano | Auditor técnico LanammeUCR |

El 2 de mayo del 2023 mediante el POE-09-2023-0138 se solicitó una ampliación del plazo para la presentación del descargo para el 19 de mayo 2023 y mediante correo electrónico, el 18 de mayo 2023 se solicitó una ampliación de dos días adicionales. Como descargo al informe en versión preliminar EIC-Lanamme-INF-0449-2023 el 23 de mayo 2023 se recibe vía correo electrónico el oficio POE-09-2023-0173, remitido por el Ing. Carlos Jiménez González y la Ing. Francini Chinchilla Torres, en el que se adjunta la nota de UNOPS 96800/230517/DF/030 de fecha 17 de mayo de 2023.

Por tanto, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, una vez analizado el documento en mención (ver Anexo A) y considerando la evidencia presentada, se procede a emitir el informe EIC-Lanamme-INF-0449-2023 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la Ley No. 8114 y sus reformas.



9. RESULTADOS DE LA AUTORÍA TÉCNICA

Los hallazgos y observaciones declarados por el equipo auditor en este informe de auditoría se fundamentan en evidencias representativas, veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de las muestras extraídas y la recolección y análisis de evidencias.

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

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

Las recomendaciones que se derivan del análisis de los hallazgos y observaciones deberían ser valoradas por parte de la Administración, planteando acciones correctivas y preventivas, que mitiguen el riesgo potencial de incumplimiento en proyectos futuros, como parte de un proceso integral de mejora continua.

SOBRE LA REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS PREVIOS DEL PROYECTO.

OBSERVACIÓN 1: SE IDENTIFICAN OPORTUNIDADES DE MEJORA EN CUANTO AL CONTENIDO DE LOS ESTUDIOS PRELIMINARES DEL PROYECTO

Como parte de la auditoría al proyecto se procedió a revisar los estudios preliminares y diseño del proyecto, la calidad de la memoria de cálculo estructural de la losa de la superestructura y paso a desnivel en la rotonda de la Bandera, la calidad de los estudios geotécnicos en la Memoria y Anexo 2 "Geología y Geotecnia", calidad de los estudios hidrológicos en la Memoria, "Anexo 4. "Climatología e hidrología" y Anexo 9 "Drenaje".

1. Sobre la revisión estructural

En colaboración con el Programa de Ingeniería Estructural (PIE) del LanammeUCR, se realizó la revisión de la memoria de cálculo del viaducto en la intersección de la ruta nacional N° 39 con la entrada a la Facultad de Derecho UCR del proyecto rotonda de la Bandera, con el objetivo de emitir observaciones a los criterios de diseño y memoria de cálculo estructural de losa de la superestructura de la rotonda del proyecto.

En virtud de la revisión de la memoria de cálculo, el PIE emite el Informe LM-PIE-34-2021: Observaciones y consultas sobre la revisión de la memoria de cálculo del diseño estructural del paso a desnivel, este informe fue enviado en Julio de 2021.





A partir del cual se realizan una serie de comunicaciones con la Administración respecto al paso a desnivel frente a la Facultad de Derecho y al paso por la rotonda de la Bandera, como se detalla en las siguientes secciones.

Los resultados de la revisión de los criterios de diseño de la losa de la superestructura de la Rotonda de la Bandera emitidos por el PIE se suministran a la Administración en el oficio LM-EIC-D-0614-2021 del 19 de julio de 2021, a lo que Unidad Ejecutora responde con el oficio POE-09-2021-0540 del 03 de agosto de 2021 y la nota 96800/210802/ER/200 del 02 de agosto de 2021 emitida por UNOPS.

Asimismo, los resultados de la revisión del diseño estructural del paso a desnivel frente al acceso a la Universidad de Costa Rica (UCR), sobre Ruta Nacional N° 39 fueron notificadas a la Administración mediante el oficio LM-EIC-D-0696-2021 del 19 de agosto de 2021. A lo que la Administración responde con el oficio POE-09-2021-0595 del 26 de agosto de 2021 solicitando una ampliación del plazo indicando que la cantidad de observaciones planteadas son considerables y requieren de dedicación de tiempo para su correcta revisión y planteamiento de una respuesta de calidad, brindando respuesta a las observaciones realizadas en diferentes documentos, tal y como se muestra en la Tabla 1.

De acuerdo con lo indicado en la nota de UNOPS 96800-230517-DF-030 con fecha del 17 de mayo de 2023, “se tratan de oportunidades de mejora que serán incorporadas por UNOPS y sus profesionales para aumentar su conocimiento y generar mejores y más eficientes diseños, mismas que son transmitidas directamente al CONAVI en el acompañamiento de cada obra.”

Es criterio de esta auditoría externa que, si bien es cierto fue el diseñador quien desarrolló las memorias de cálculo, el gestor de proyectos posee especialistas en las áreas competentes que se encargaron de realizar la revisión de los diseños, esto se indicó en la nota de UNOPS 96800-230517-DF-030 con fecha del 17 de mayo de 2023; sin embargo, el gestor de proyecto recibió esta información con las deficiencias señaladas.

Losa de Superestructura, Rotonda La Bandera

En la sección 2021.05.07 de la Memoria de Cálculo Losa Superestructura Rotonda La Bandera_01 con fecha de mayo 2021 se revisaron los “Criterios de Diseño y Memoria de Cálculo Estructural. Diseño de Losa de Superestructura, Rotonda La Bandera” (2021.05.07 Memoria de Cálculo Losa Superestructura Rotonda La Bandera_01) realizados por Euroconcretos y que fueron proporcionados al Consejo Nacional de la Vialidad (CONAVI).

Se destacó que la cantidad de carriles considerados en el diseño de la superestructura del puente que conforma la rotonda de la Bandera es menor a la recomendada por AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2012 (6ta edición). El documento indica que el puente fue calculado para 3 carriles, sin embargo, al aplicar el criterio del artículo 3.6.1.1.1 de AASHTO LRFD, la estimación no se considera como adecuada según lo indicado en el Informe LM-PIE-34-2021.

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| EIC-Lanamme-INF-0449-2023 | Setiembre, 2023 | Página 19 de 84 |
|---------------------------|-----------------|-----------------|





La Unidad Ejecutora indicó que, con respecto al cálculo de la losa de superestructura, la introducción a la narrativa de la memoria de cálculo presenta una imprecisión por parte del Contratista que sería corregida, pero que, como se demostró en el oficio POE-09-2021-0540 del 03 de agosto de 2021 y la nota 96800/210802/ER/200 del 02 de agosto de 2021 emitida por UNOPS no tiene efecto en el diseño realizado.

Además, se indica que se consideraron diferentes escenarios de ocupación de carriles. El diseñador consideró 1, 2 y hasta 3 camiones, uno al lado del otro, con los respectivos factores de multipresencia en cada escenario. Se detalla en el documento una explicación acerca del diseño de prelasas cortas en donde se concluye que: “si bien la memoria de cálculo contiene una introducción con un supuesto erróneo para el diseño del puente, este no tiene ningún impacto en el resultado final del objeto de la memoria. Las prelasas se han diseñado para carga vehicular en todos los vanos, por lo que podrán resistir cargas vehiculares en el eventual caso de una ampliación de la rotonda.”

De acuerdo con lo indicado en el oficio LM-EIC-D-0614-2021 del 19 de julio de 2021, esta situación corresponde a un caso en el que la normativa para diseño estructural AASHTO LRFD 2010 fue aplicada de forma incompleta o incorrecta. Estos pueden tener implicaciones en el desempeño de la estructura a lo largo su vida de servicio ya que se considera en el diseño una cantidad inferior de carriles en la superestructura del puente, contrario a lo que se indica en el artículo 3.6.1.1.1 de AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2012 (6ta edición). Este criterio tiene el objetivo de prevenir un posible cambio a futuro en el ancho libre físico o funcional de la calzada del puente, lo que debería ser considerado durante la vida útil de la estructura. De acuerdo con la normativa AASHTO y como se indica en el informe del PIE, la barrera vehicular intermedia presente en el puente no debería ser tomada en cuenta para calcular la cantidad de carriles de diseño, ya que, en el futuro, esta barrera podría ser removida como parte de una ampliación o una modificación funcional de la carretera. También es importante aclarar que la cantidad de carriles de diseño no necesariamente es igual a la cantidad de carriles de tránsito.

Paso a desnivel frente al acceso a la UCR, sobre la Ruta Nacional N° 39

Como parte de la revisión realizada por el PIE a la memoria de cálculo contenida en el documento “Anexo 8: Estructuras, del Proyecto de las intersecciones de la Bandera y Guadalupe, San José, Costa Rica. Proyecto de diseño de detalle del 2015 realizado por Euroestudios”, se evidenció lo siguiente:

- En diferentes secciones de la memoria de cálculo aprobada, se omitió información clave de diseño como las combinaciones de carga que se debieron analizar para cada estado límite. Tampoco se verificaron los criterios para la aplicabilidad del método aproximado de franjas en el análisis del tablero de concreto. La memoria de cálculo aprobada no brinda evidencia de que se verificaron los requerimientos mínimos para poder aplicar la tabla de momentos del apéndice de AASHTO LRFD.



Como consecuencia, al momento de realizar esta auditoría, se presentaron inconvenientes para verificar los criterios de diseño al punto de plantear la consulta de si estos fueron establecidos al realizar el diseño.

- Con respecto a las vigas principales y vigas diafragma, se utilizaron ecuaciones y criterios de revisión que no corresponden al tipo de elemento, no se presentó evidencia de que se hayan verificado las deflexiones en las vigas por carga viva. Tampoco se observó en la memoria de cálculo aprobada un diseño de las vigas diafragma, las cuales estaban indicadas en los planos y ubicadas en los extremos de cada tramo de superestructura.
- En cuanto a bastiones, apoyos, cimentaciones y muros de retención, no se evidenció la revisión de la longitud de asiento mínima, tampoco el análisis de una colisión contra las columnas de las pilas del puente ni de los empujes laterales del suelo para el diseño de los bastiones tipo columnas múltiples. No se incluyó información del diseño del acero de refuerzo transversal de los pilotes ni de la verificación de la resistencia soportante del concreto en la zona de apoyos.
- Con respecto a los muros de retención, no se identificó evidencia de revisiones del asentamiento ni de la estabilidad global del muro de suelo reforzado para el estado límite de servicio. Se evidenció que la comprobación del muro de suelo reforzado colocado delante de los bastiones para contener los rellenos de los accesos del puente se realizó utilizando como referencia los lineamientos de la publicación de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE) y no la norma AASHTO LRFD, la cual es el documento de referencia contractual. Además, no se indicó cómo se obtuvieron los coeficientes de empuje activo y la fuerza de sismo aplicada sobre el muro de suelo reforzado colocado delante de los bastiones tipo columna múltiple.
- También se detectó una incorrecta aplicación de la normativa cuando esta Auditoría recibe por parte del diseñador una corrección a las dimensiones de viga estándar utilizada en el tablero, indicando que se utilizaron unos parámetros por error en la memoria de cálculo, pero que, al corregirlos, el diseño cumple con los requisitos. Además, se menciona que en el diseño aprobado no se incluye el peso de la barrera vehicular ya que la condición de 6 carriles habilitados es más severa que la condición que considera el peso de la barrera.

Ante los señalamientos del LanammeUCR, el diseñador indicó en la nota de UNOPS con ref.96800/211106/ER/276 del 06 de octubre del 2021, adjunto al documento: "Informe de la Memoria de Cálculo fechado el día 01 de octubre del 2021 a las 11:30:39 que fue generado con el programa Civil Estudio, asociado al oficio POE-09-2021-0700 del 07 de octubre de 2021, que se realizó un nuevo cálculo del tablero del puente con un programa que incluye el módulo del cálculo de pérdidas, en el que se determinaron todas las pérdidas posibles en las vigas postensadas y se comprobó que en este tipo de vigas no se producen pérdidas por acortamiento elástico del concreto".



El diseñador aclaró que el cálculo detallado de las pérdidas de presfuerzo consideradas en el diseño de las vigas principales y los límites de esfuerzos considerados en el concreto antes y después de las pérdidas se muestran en la memoria de cálculo adjunta al oficio POE-09-2021-0663 con la nota 96800-210921-ER-259, con fecha del 22 de septiembre de 2021. Se refiere también a indagar en esta memoria de cálculo adjunta para encontrar evidencia de los cálculos de la resistencia nominal a flexión de las vigas principales, así como el espaciamiento del acero de refuerzo y la revisión de los límites máximo y mínimo para el acero de refuerzo a cortante de las vigas, así como el diseño del acero de refuerzo transversal en estos elementos, los cuales no se evidenciaron en la memoria de cálculo aprobada.

Las omisiones al diseño de la memoria de cálculo aprobada indicando los valores del ángulo de sesgo observado en los planos de octubre del 2021, se adjuntan como anexos en los planos constructivos actualizados con la modificación realizada al diseño de los bastiones ubicados fuera del macizo de suelo reforzado (MSR) en nota de UNOPS con ref.96800/211106/ER/259 del 21 de septiembre del 2021. Además, se indicaron los valores considerados para las pérdidas de presfuerzo, los criterios para la revisión de los límites de esfuerzos en el concreto, los límites de verificación de las deflexiones máximas por carga viva en las vigas presforzadas, los criterios para verificación del acero mínimo transversal, y los criterios de separación máxima de refuerzo transversal.

Es criterio de esta auditoría que, aunque es posible que algunos de los aspectos que se omitieron, sí se hayan tomado en cuenta en el diseño estructural aprobado, no existe evidencia de esto en la memoria de cálculo aprobada por la Administración. Por lo tanto, es criterio del equipo auditor que la omisión de información dificulta la revisión y el seguimiento por parte de un tercero, además evidencia la falta de verificación por parte de la Administración, a la documentación de la memoria de cálculo estructural. También en el informe realizado por el PIE se solicitó observar el formato de presentación de información, ya que se encontró que las memorias se redactaron en dos idiomas, el documento utilizó una combinación del idioma español e inglés, algunos datos, variables y tablas se muestran en idioma español y otras en idioma inglés, lo cual puede confundir a los lectores.

Se encuentra que la memoria de cálculo presenta unidades de medida del sistema imperial. Esto obliga a que un revisor independiente deba realizar conversiones de unidades en caso de que sea necesario validar los cálculos realizados. Además, en diferentes secciones de la memoria de cálculo, no se especifican las combinaciones de carga que se están analizando para cada estado límite. Esta situación obliga a un tercero a realizar interpretaciones o suposiciones.

2. Sobre la revisión hidrológica

Con base en los resultados de la revisión se emitieron las notas informe LM-IC-D-0285-2020 del 26 de marzo de 2020 y LM-IC-D-0685-2020 del 26 de agosto de 2020, con consultas y observaciones sobre las memorias de cálculo de hidráulica e hidrología. La

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| EIC-Lanamme-INF-0449-2023 | Setiembre, 2023 | Página 22 de 84 |
|---------------------------|-----------------|-----------------|



Unidad Ejecutora respondió mediante los oficios POE-10-2020-0402 del 20 de mayo de 2020 y POE-09-2020-0732 del 17 de setiembre de 2020, respectivamente.

Desestimación de los resultados del método racional

Con respecto al método racional, el equipo auditor solicitó aclarar los motivos por los que se desestimó esta metodología de cálculo, recibiendo respuesta mediante el oficio 96800/200507/ER/106, adjunto al oficio POE-10-2020-0402. Dentro de los argumentos técnicos descritos en la respuesta se recibieron diferentes criterios utilizados por el diseñador, de los cuales es criterio del equipo auditor que son de recibo los siguientes puntos:

B. Supone que la intensidad es constante, lo cual es cierto sólo cuando la duración de la lluvia es corta (15 min).

El tiempo de concentración calculado para la cuenca de la quebrada Negritos es de casi 40 min. No es razonable suponer que la intensidad se mantendrá constante durante ese tiempo. En esencia, la intensidad puede variar significativamente durante un evento de duración cercana a los 40 min, generando un hidrograma con un caudal pico que puede diferir significativamente del calculado con el método racional. Por tanto, se podría considerar como una justificación válida para desestimar el método racional.

E. Ignora los efectos de almacenamiento o retención temporal del agua en el cauce, en la superficie, en conductos y otros elementos.

Este se considera un criterio válido para desestimar los resultados del método racional. Se comparte el criterio de que la intervención de la cuenca con entubamientos y la invasión de cauce podrían producir una retención temporal que no es considerada por el método racional y, en general, alterar el comportamiento del caudal pico.

Considerando la información aportada por el consultor especialista, adjunta al oficio POE-10-2020-0402, es criterio del equipo auditor que es razonable que se hayan desestimado los resultados del método racional considerando especialmente las limitaciones del método mencionadas.

Sobre la aplicación de la fórmula empírica de Kirpich para calcular el tiempo de concentración

El cálculo del tiempo de concentración se abarcó en el apartado de Hidrología del Anexo 4. Climatología e hidrología (Euroestudios, 2015). Para determinar el tiempo de concentración, se utilizó únicamente la fórmula empírica de Kirpich, la cual fue desarrollada para parcelas agrícolas en los Estados Unidos con áreas entre 0,004 km² y 0,45 km² (Li y Chibber, 2008). En el caso de la cuenca de la quebrada Negritos, el consultor especialista indicó que el 84% del área de la cuenca es impermeable. Por lo tanto, el uso de suelo no correspondía a parcelas agrícolas. Además, el área de la cuenca (2,3 km²) supera ampliamente el área de



las cuencas analizadas por Kirpich para obtener su fórmula, por lo que no se cumplen los principios fundamentales para el uso de la fórmula.

Mediante la respuesta recibida ante esta observación el consultor realizó una comparación del resultado obtenido con otras metodologías tales como Giandotti y la fórmula del SCS. Al igual que con la fórmula de Kirpich la cuenca de la quebrada Negritos no satisface las características fundamentales para el uso de la fórmula de Giandotti. Por lo que, estas ecuaciones no necesariamente son representativas para la cuenca en estudio.

La fórmula del SCS tiene la ventaja de que, por medio del parámetro CN, se puede asociar el tiempo de concentración a usos del suelo específicos y tomar en cuenta la impermeabilidad del terreno. Por tanto, sus resultados se consideran más representativos de la cuenca en estudio. En el caso específico de la cuenca de la quebrada Negritos, el consultor mostró un valor de tiempo de concentración obtenido mediante la fórmula del SCS de 49,9 min, valor de mayor magnitud que la estimación mediante el método de Kirpich (37,6 min). Un mayor tiempo de concentración se asocia a un menor caudal pico en el punto de control, por lo tanto, se puede considerar que utilizar la fórmula de Kirpich fue conservador.

Como recomendación, si en la literatura técnica disponible no se encuentra una fórmula empírica cuyo rango de aplicación abarque el caso particular analizado, se puede evaluar el resultado de varias fórmulas cuyo rango de aplicación se acerque más a las características de la cuenca (área, pendiente, longitud del cauce, uso de la tierra, entre otros). Se recomienda también comparar los resultados de las fórmulas empíricas con el resultado de otros métodos como el Método de Velocidad. Ese método, citado por el consultor especialista en el caso de Rivering (2015), es detallado y recomendado en el documento Hydraulics Manual del Departamento de Transportes de Oregon (2015) y en el Capítulo 15 del documento National Engineering Handbook (NRCS, 2012).

Cabe aclarar que, al final, el resultado del cálculo del tiempo de concentración no fue considerado para determinar el caudal de diseño de la alcantarilla bajo la Ruta Nacional 39. Por tanto, el resultado no tuvo un efecto directo en la obra diseñada. Sin embargo, la estimación de ese tiempo de concentración con la fórmula empírica de Kirpich se menciona como parte de la metodología de cálculo, en el apartado mencionado. Por tanto, se procedió a revisar el método de cálculo del tiempo de concentración.

Sobre el uso del método de Creager para el cálculo de caudales

El método de Creager es un método empírico que supone que los valores de caudal máximo instantáneo para un determinado período de retorno varían únicamente con el área de drenaje de la cuenca. No obstante, se conoce que el patrón de escorrentía de una cuenca es función del volumen de precipitación, de la distribución espacial y temporal de las tormentas, del uso de la tierra, de la textura del suelo y de las características físicas y geológicas de la cuenca. Por lo tanto, suponer que el caudal máximo instantáneo se puede



estimar únicamente con base en el área de drenaje, ignorando los demás factores que condicionan el patrón de escorrentía superficial, es simplificar el cálculo de los caudales máximos instantáneos de una cuenca.

Además, para obtener los valores del coeficiente C de Creager, se utiliza el concepto de producción específica. La producción específica de una cuenca supone que toda el área de drenaje contribuye a la escorrentía superficial con el mismo valor de caudal por unidad de área.

Este supuesto puede ser válido para la estimación de caudales promedio anuales, para los cuales la variabilidad en la distribución espacial y temporal de las tormentas puede agruparse para obtener un promedio representativo.

Sin embargo, para valores locales de precipitación, el supuesto básico de la producción específica no se cumple y, por lo tanto, los valores del coeficiente C de Creager y los valores de caudal máximo instantáneo obtenidos mediante el método de Creager no necesariamente son representativos de la cuenca en estudio.

Para determinar el caudal máximo instantáneo en el sitio donde la quebrada Negritos que pasa bajo la Ruta Nacional No. 39. Los valores del coeficiente C de Creager para diferentes períodos de retorno fueron obtenidos a partir de caudales medidos en la estación hidrológica Electriona. La cuenca del río Tiribí hasta el sitio de la estación Electriona tiene un área aproximada de 305 km², esta área se compone de numerosas subcuencas que pueden tener diferentes patrones de precipitación, características físicas y geológicas, usos de la tierra y texturas del suelo. Entonces, suponer que la expresión deducida para la fórmula de Creager para la estación Electriona es aplicable a subcuencas como la de la quebrada Negritos (hasta el sitio donde pasa bajo la Ruta Nacional No. 39), puede producir resultados inexactos. La cuenca de la quebrada Negritos hasta su paso bajo la Ruta Nacional No. 39 tiene un área de 2,3 km², por lo que cabe agregar que, en la respuesta de la Administración mediante el oficio POE-09-2020-0402, se indica que el método de Creager se utiliza en cuencas de más de 4,5 km², la cuenca de la quebrada Negritos no cumple con esa condición.

La Administración indicó que el resultado de Creager fue aceptado debido a que brindó caudales mayores que los otros métodos utilizados. En casos como este, seleccionar el caudal máximo instantáneo obtenido mediante un método empírico (como el método de Creager), bajo el criterio conservador de que es un valor mayor al que se obtiene de otros métodos, puede llevar al sobrediseño de las obras hidráulicas, por lo cual es criterio de este equipo auditor que los análisis realizados deben sustentarse en metodologías que permitan obtener resultados representativos de la cuenca de estudio.

Sobre la información meteorológica utilizada

La estación meteorológica seleccionada como base para la estimación de la precipitación para el modelado hidrológico con HEC-HMS (84111 Santa Lucía) se ubica fuera del área



de drenaje de la cuenca en estudio, a más de 10 km del proyecto. En el estudio, no se muestra la caracterización climática a partir de la información de la estación meteorológica 84111 Santa Lucía, ni se hace un análisis comparativo con las estaciones seleccionadas para la caracterización climática de la zona del proyecto (89139 CIGEFI y 89141 IMN Aranjuez), para garantizar que el patrón de precipitación registrado en la estación 84111 Santa Lucía es representativo del patrón de precipitación de la zona en estudio.

La Administración brindó respuesta a esta observación mediante el oficio POE-10-2020-0402, en la que comparó el resultado de intensidad obtenido con los datos de la estación Santa Lucía, con las intensidades que se obtendrían al utilizar estaciones más cercanas al proyecto, tales como 89141-IMN Aranjuez y 89139-CIGEFI.

Con la información adicional proporcionada mediante el oficio POE-10-2020-0402, se verificó que el uso de la intensidad de precipitación obtenida a partir de la estación 84111 Santa Lucía produce los mayores caudales pico de las tres estaciones, lo anterior para la duración y periodo de retorno utilizado en el diseño del proyecto, motivo por el cual, se concluye que de haber utilizado los resultados de la estación Santa Lucía se pudo incurrir en un sobre diseño.

3. Sobre la revisión geotécnica

Con el apoyo del Programa de Ingeniería Geotécnica del LanammeUCR (PIG), se procedió a revisar la calidad de los estudios geotécnicos contemplados en conjunto para los proyectos: “Construcción de las Intersecciones de La Bandera y Guadalupe, San José, Ruta Nacional No.39”.

Esta revisión consistió en verificar si el estudio de suelos realizado para determinar el modelo geológico-geotécnico, los niveles freáticos, el potencial de licuación de suelos por sismo, la estabilidad de los taludes de corte y de relleno en el proyecto, capacidad de soporte y asentamientos de las estructuras del proyecto, obras de retención y pavimentos existentes, cuentan con información suficiente y clara para determinar los resultados obtenidos y si tiene fundamento técnico que lo respalde. Esto tomando en cuenta las características de sitio y los fenómenos que puedan afectar a las cimentaciones de estas obras.

Los resultados de esta revisión se muestran en el informe LM-IG-06-19, el cual fue remitido a la Administración mediante el oficio LM-IC-D-0672-20 del 11 de agosto de 2020. La Administración brindó respuesta a las observaciones emitidas mediante el oficio POE-09-2020-0717 con fecha del 11 de setiembre de 2020. Se debe mencionar que el Laboratorio Castro y de la Torre tuvo participación en esta etapa de diseño.

Estratigrafía y caracterización geomecánica de los materiales

Para la rotonda La Bandera se realizaron: 26 perforaciones de SPT y rotación con extracción de muestras de manera intercalada; 2 perfiles de refracción sísmica y 13



trincheras de reconocimiento para la capa de pavimento. El Programa de Ingeniería Geotécnica consideró adecuada la solución y cimentación propuesta en el proyecto, así como el diseño de muros de suelo reforzado y muros compuestos.

La empresa Euroestudios decidió proponer una pantalla de pilotes como solución de retención de suelos. En cuanto al uso de cimentaciones superficiales, se indicó que en los análisis pertinentes de capacidad de soporte, se producían asentamientos mayores a los permitidos por el Código de Cimentaciones de Costa Rica a pesar de que el suelo es capaz de transmitir adecuadamente las cargas.

Modelo geológico y geotécnico del sitio y parámetros de los materiales

El PIG realizó una revisión al modelo geológico y determinó que los rangos de los valores dados se obtienen utilizando en la mayoría de los casos los valores máximos y mínimos reportados para cada ensayo, excepto para los valores de resistencia en general para todas las unidades, en mayor grado con el valor de cohesión donde los resultados obtenidos en los ensayos de corte directo y triaxial, no corresponden en ningún caso al valor reportado. Posiblemente los valores de cohesión y algunos ángulos de fricción, fueron tomados de las correlaciones realizadas con el ensayo de SPT, porque los resultados arrojaron datos más altos a los esperados por el comportamiento de los materiales en sitio. Pese a ello, el PIG indicó que los resultados son conservadores en comparación con los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio, por lo que, las propiedades asignadas se encuentran acorde a los materiales.

Nivel freático

En el informe de Castro y de la Torre se indica que se encontraron dos niveles: un nivel colgado en las profundidades entre 2 a 13 m, con profundidad típica de 9 m, y un nivel freático regional entre las profundidades de 25 a 35 m, siendo el valor promedio de 27 m. Mediante la nota informe LM-IC-D-0672-2020 del 11 de agosto 2020 y el informe LM-IG-06-19, el PIG aconsejó tomar las previsiones necesarias para evacuar el agua al realizar perforaciones, así como el drenaje en las pantallas, además aconsejó tomar en cuenta que el agua entre las capas lahar ultrafino y fino podría pasar a formar parte de la mezcla de concreto por colocar, disminuyendo la resistencia del elemento al aumentar la relación agua cemento e incluyó una recomendación relacionada al sistema de drenaje, ya que, el diseño debe tomar en consideración los flujos subterráneos.

Potencial de licuefacción

De acuerdo con el Programa de Ingeniería Geotécnica (2019), en el apartado 5.2.10.1 del informe, Castro y de la Torre indica que para este tipo de suelo no existirá potencial de licuación porque el material encontrado no cumple con los siguientes 4 criterios:

- Arenas finas con granulometría específica (menos de un 20% de finos)
- Que las arenas estén sumergidas bajo el nivel freático

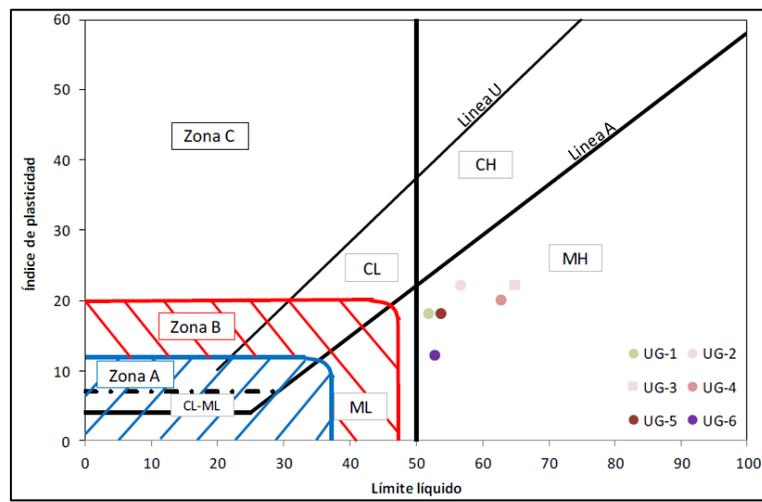


- Que el N_{spt} sea inferior a 25 golpes/pie (82 golpes/m)
- Que el espesor de la capa sea superior a 1,0 metro

Sin embargo, dados los materiales encontrados en el sitio del proyecto, el PIG determinó que los tipos de suelos muestreados superan el 20 % de finos, y debido al nivel freático reportado podrían encontrarse en condición saturada. De tal forma, el PIG determinó que las últimas dos premisas no se cumplen. Adicionalmente, se revisó el potencial de licuefacción, colocándolos en la carta de plasticidad modificada por Idriss et al, presentada en el Seminario de la ASCE del 2003, la cual incluye una zonificación de suelos potencialmente licuables.

De acuerdo con la Figura 2 ninguno de los materiales tiene potencial de licuefacción. Dada la información analizada es criterio del equipo auditor que el análisis de licuefacción dentro de la memoria de cálculo se encuentra incompleto, al no evaluar materiales diferentes a arenas, pese a existir materiales con alto contenido de finos.

Figura 2. Carta de plasticidad modificada: sitio del proyecto de la intersección de la Rotonda de la Bandera



Fuente: LM-IG-06-19, 2019

Geotecnia de estructuras

De acuerdo con el LM-IG-06-19 los análisis de capacidad de soporte indican que esta es adecuada para cada opción de cimentación evaluada, pero los asentamientos se convierten en inadmisibles cuando se trata de la opción de placa de 3 m, o bien para cualquier opción de cimentación superficial colocada en la unidad UG-6. Para el diseño final de la cimentación de las estructuras, se recomendó en la nota informe LM-IC-D-0672-20 del 11 de agosto de 2020 y el informe No. LM-IG-06-19, realizar un análisis más exhaustivo de asentamientos, para determinar la conveniencia de utilizar los tipos de cimentación que se



propusieron. Ante este comportamiento de los materiales en cuanto a los asentamientos, en el INF. #15-0017 con fecha de marzo 2015, el cual forma parte de la Sección 2.2.2 del Anexo 2 “Geología y Geotecnia” de la “Memoria” del Tomo 1 del “Proyecto de las Intersecciones de La Bandera y Guadalupe, San José (Costa Rica), Proyecto de Diseño de Detalle”, Castro y de la Torre, propuso la opción de cimentar con fundaciones superficiales con capacidades admisibles limitadas, lo cual puede ser contraproducente para algunas estructuras pues la carga que transmiten podría ser mayor, o bien cimentar con pilotes. Se recomendó que los pilotes se empotraran 3 m, 4 m o 5 m en las unidades firmes UG-6 y UG-7 y que se verifiquen en campo los asentamientos con pruebas de carga.

Adicionalmente, el PIG señaló incumplimientos en las granulometrías de materiales de base y subbase de pavimentos, según lo solicitado por la normativa CR-2010. Castro y de la Torre indicó que el material cumple con el CBR especificado, sin embargo, es criterio del equipo auditor que esta no es una justificación válida para no solicitar el cumplimiento con las especificaciones de granulometría que contractualmente corresponden.

SOBRE LAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS DEL PROYECTO

HALLAZGO 1: EL PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA LA INYECCIÓN DE LAS GRIETAS EN LAS LOSAS DEL TABLERO DE CONCRETO REFORZADO DE LA ROTONDA DE LA BANDERA, NO GARANTIZA LA PENETRACIÓN TOTAL DE LA INYECCIÓN EN LAS GRIETAS Y POR LO TANTO, NO SE GARANTIZA LA INTEGRIDAD Y DURABILIDAD DEL TABLERO.

Durante la gira realizada el 14 de enero 2022, se observaron grietas en las losas del tablero del paso superior en la zona de la rotonda de La Bandera (ver

Figura 3). Se observó que, en algunos paños de la losa de concreto, el agrietamiento presentaba un patrón de interconexión (ver Figura 4). La losa se encontraba cubierta con geotextil dado que se utilizó como parte del proceso de curado junto con la aplicación de agua. En razón de que se trató de la primera vez en que se observaron las grietas, el equipo auditor comunicó la condición de forma verbal a la Supervisión que se encontraba presente durante la gira. Esta condición se puede observar en la Figura 3.



Figura 3. Grietas en las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 14 de enero 2022.



En seguimiento a la condición de las grietas observadas el 14 de enero, durante la visita del 25 de enero, se evidenció la condición y magnitud de los agrietamientos una vez que se había retirado el geotextil que protegía la losa de concreto (ver Figura 4 y Figura 5). Se midieron anchos de grietas de distintas dimensiones y hasta 4 mm aproximadamente (ver Figura 5) y con una extensión de inclusive 2,3 m.



Figura 4. Grietas interconectadas y en distintas direcciones y en diferentes ubicaciones en las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 25 de enero 2022.



Figura 5. Mediciones de anchos de grietas en las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 25 de enero 2022.



Durante la visita del 2 de febrero 2022 se observó que la Contratista había realizado labores de ruteo de grietas en las losas (ver Figura 6). Para el 4 de febrero 2022, se apreció la colocación de boquillas para inyección como parte del primer tratamiento para la atención de las grietas identificadas en la losa de concreto (ver Figura 7).



Figura 6. Ruteo de grietas en las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 2 de febrero 2022.



Figura 7. Primer tratamiento para las grietas en las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 4 de febrero 2022.



Como parte de las labores de auditoría, el 7 de febrero 2022 se procedió a la extracción de núcleos de las losas con el fin de conocer la profundidad de las grietas y la efectividad de la inyección. De acuerdo con los núcleos extraídos, se registraron grietas con un ancho de 2,5 mm y cuya profundidad en la mayoría de los especímenes recorría toda la altura del núcleo (ver Figura 8 y Figura 9).

Respecto a dicha condición el Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR emitió el informe EIC-Lanamme-INF-0135-2022 con fecha de febrero 2022, en este informe, en relación con los agrietamientos se indica que: “utilizando el agujero de la extracción del núcleo como ventana de inspección, se pudo observar que las grietas en las paredes de agujero alcanzaban el fondo del mismo y que el sistema implementado para sellar la grieta solo la selló superficialmente”.

Figura 8. Agujero del núcleo extraído sobre una grieta del tablero de concreto reforzado donde se observó sellado parcial de las grietas. Fecha 2 de febrero 2022.



Figura 9. Primeros núcleos extraídos por el LanammeUCR de las losas de la rotonda de La Bandera. Fecha: 7 de febrero 2022.





La Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR comunicó la situación a la Ingeniería de Proyecto en las giras técnicas realizadas al proyecto. Asimismo, la información fue notificada a la Administración mediante:

- Correo electrónico del 8 de febrero del 2022, con asunto: Grietas en la losa de la rotonda de La Bandera.
- Correo electrónico del 8 de febrero de 2022, con asunto: EIC-Lanamme-INF-0135-2022 Informe de inspección tablero agrietado PIE La Bandera y con el informe EIC-Lanamme-INF-0135-2022 adjunto.
- Nota-informe EIC-Lanamme-146-2022 del 17 de febrero de 2022.
- Nota informe EIC-Lanamme-427-2022 del 29 de junio 2022.

La Unidad de Auditoría Técnica con el apoyo de los expertos técnicos del Programa de Ingeniería Estructural (PIE) del LanammeUCR emitieron su criterio respecto a la condición de los agrietamientos de la losa del paso superior del proyecto en el mes de febrero 2022, con el informe EIC-Lanamme-INF-0135-2022. En este se indica que:

- Existe un patrón de grietas generalizado en todo el tablero de concreto.
- Una parte de las grietas ya se encontraban selladas y otras solo habían sido perfiladas como paso previo al procedimiento de sellado de la grieta.
- Se observaron más grietas aún sin perfilar y sellar en gran parte del tablero de concreto.

La causa aparente del agrietamiento, según los expertos técnicos, es atribuida a una retracción plástica producto de una pérdida acelerada del agua en la superficie del concreto previo al fraguado final, cuando el concreto no ha desarrollado suficiente resistencia. Este tipo de retracción está asociada a condiciones ambientales que favorecen una rápida evaporación superficial (altas temperaturas, viento y/o baja humedad relativa) así como mezclas con alto contenido de cemento, alta presencia de finos y temperatura de la mezcla al momento de su colocación.

Además, el procedimiento de trabajo, inyección e impermeabilización debe garantizar que se evite cualquier filtración hacia el acero de refuerzo que afecte la durabilidad del elemento y dentro del túnel.

Al evidenciar el agrietamiento en las losas de concreto, la Unidad Ejecutora del Programa de Obras Estratégicas (POEIV-BCEI/CONAVI) envió a UNOPS como Gestor del Proyecto, el oficio POE-09-2022-0073 del 8 de febrero 2022 en el que presentó solicitudes en cuanto a la atención de los problemas de agrietamientos que se encontraron. En dicho oficio se hace referencia al informe EIC-Lanamme-INF-0135-2022 del PIE LanammeUCR denominado "EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL TABLERO DE CONCRETO REFORZADO DEL PASO A DESNIVEL SOBRE LA INTERSECCIÓN DE LA BANDERA, RUTA NACIONAL Nº 39" y la Administración solicita contemplar los planteamientos del LanammeUCR al solicitar al Gestor del Proyecto referirse a: el levantamiento del



agrietamiento del tablero, el plan de verificación de calidad elaborado y aprobado, el procedimiento de trabajo, la presión de inyección para garantizar que las grietas son selladas en su totalidad, informes de revisión de los expertos en ingeniería estructural del proyecto en cuanto a la condición de los agrietamientos de la losa, entre otros.

Además, la Administración en el oficio POE-09-2022-0073 del 8 de febrero 2022 presentó la peticoria a UNOPS de atender las recomendaciones dadas por el LanammeUCR en el informe EIC-Lanamme-INF-0135-2022, o caso contrario indicar y justificar el por qué no se atenderían. Algunas recomendaciones del oficio fueron:

- Extracción de núcleos sobre las trayectorias de las grietas posterior al proceso de sellado para corroborar la efectividad de la medida correctiva y garantizar que el llenado y sellado de estas se efectuara a lo largo de su profundidad.
- Mapeo y monitoreo de las grietas en toda la losa.
- Garantizar que la distancia entre boquillas y presión de inyección es la requerida para que todas las grietas sean penetradas.
- A partir del resultado de los núcleos extraídos por parte del LanammeUCR, valorar si se debía solicitar al contratista enmendar la deficiencia que fue identificada en los procesos de inyección.
- Solicitar las evidencias para comprobar si la solución implementada como medida de subsane de los agrietamientos registrados es efectiva, o valorar solicitar una reparación de mayor índole como por ejemplo la demolición del tablero.

La Administración brindó respuesta mediante el oficio POE-09-2022-0092 del 18 de febrero 2022, con las notas de UNOPS 96800/220211/ER/042 del 11 de febrero del 2022 y 96800/220218/ER/054 del 18 de febrero de 2022. Posteriormente, también respondió con los oficios POE-09-2022-0110 del 25 de febrero 2022, y POE-09-2022-0139 del 8 de marzo de 2022.

Como parte de la respuesta de la Administración en el oficio POE-09-2022-0092 del 18 de febrero 2022, se adjuntaron los documentos: procedimiento de reparación (inyección y gravedad) (Anexo 3), fichas técnicas de los productos a utilizar (Anexo 3), criterio del Ingeniero estructural (Anexo 4), inventario de fisuras (Anexo 5), procedimiento de impermeabilización previsto para el puente (Anexo 6), aprobación de UNOPS del procedimiento (Anexo 7) y correos enviados y recibidos (Anexos 8).

En el Anexo 1 del oficio POE-09-2022-0092, se identificaron las notas de UNOPS 96800/220211/ER/042 del 11 de febrero 2022 y 96800/220218/ER/054 del 18 de febrero 2022. En la primera se atendieron algunas de las recomendaciones del informe EIC-Lanamme-INF-0135-2022, tales como:



- El mapeo y registro de las grietas para conocer si están activas.
- La verificación de la presión de la inyección que se indicó que ese aspecto recae en buena parte en la experiencia de los técnicos de inyección, aunque la presión podría llegar hasta 120 psi.
- La verificación de que los documentos contractuales de este proyecto incluyen criterios de aceptación que permitan definir la aceptación o rechazo de elementos de concreto reforzado colado en sitio que presentan deficiencias.

Es importante indicar que como parte del oficio POE-09-2022-0092 se comunicó que:

Es importante aclarar que el contratista realizó las primeras pruebas de sellado con la empresa Renteco, la cual, debido a los inconvenientes sufridos y de los cuales tienen conocimiento, fue sustituida por la empresa Aplitec, la cual inyectará nuevamente lo ya realizado por la empresa anterior.

En el Anexo 3 del POE-09-2022-0092 del 18 de febrero 2022 y como parte de la atención de las grietas, se enviaron los procedimientos de reparación con referencias PYC-307-2022-UN-LB del 1° de febrero 2022 y PYC-319-2022-UN-LB del 14 de febrero 2022. En el PYC-307-2022-UN-LB se indica que se tratarían las fisuras de forma diferente, aquellas mayores a 2 mm de ancho y las de igual o menor a 2 mm. En el PYC-319-2022-UN-LB se indica cual es el procedimiento de reparación de fisuras mayores a 0,5 mm de ancho.

En el primer procedimiento presentado por la Contratista el 1° de febrero del 2022 con referencia PYC-307-2022-UN-LB se indica claramente en la sección “Procedimiento para la reparación de fisuras mayores a 2 mm de ancho” que la distancia entre inyectores será cada 15 cm máximo.

Luego, en el segundo procedimiento de la Contratista con fecha 14 de febrero de 2022 y referencia PYC-319-2022-UN-LB en la sección “Procedimiento de reparación de fisuras mayores a 0,5 mm de ancho” se indica lo mismo, tal que “la distancia entre inyectores será cada 15 cm máximo.”

También, como respuesta en el oficio POE-09-2022-0092, Anexo 5: Inventario de fisuras/levantamiento de grietas, presentado por el Gestor del Proyecto se identificó un levantamiento inicial de las grietas de acuerdo con el paño en que se encontraban, numeración de la grieta, ancho de grieta, longitud de la grieta y si se encontraba sellada a la hora de la medición. La Administración atendió esta solicitud que presentó el LanammeUCR en virtud de identificar si las grietas conservaban su ancho y longitud, o si incrementaban, lo que implica una condición de riesgo mayor. De acuerdo con el Anexo 5 de la Supervisión, se registraron grietas de hasta 4,0 mm de ancho y 1,38 m de longitud.

En el oficio de respuesta de la Administración POE-09-2022-0092 del 18 de febrero 2022 también se indica que el criterio del ingeniero estructural es:

5- AFECTACIÓN DE LA FISURAS A LA DURABILIDAD

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| EIC-Lanamme-INF-0449-2023 | Setiembre, 2023 | Página 37 de 84 |
|---------------------------|-----------------|-----------------|



Como se ha visto en el apartado 4 de este informe, las fisuras analizadas no afectan a las funciones resistentes que se le encomiendan a la losa del puente.

Sin embargo, las fisuras descritas dejan el camino expedito para que el agua penetre hasta llegar a los refuerzos superiores de la losa favoreciendo el desarrollo de la corrosión lo que conduciría a una pérdida de la capacidad resistente de la losa.

Para asegurar la integridad durante la vida útil del puente debe evitarse la penetración de agua en el corazón de la losa. Para ello es indispensable realizar una adecuada impermeabilización de la cara superior de la losa, antes de verter sobre ella el pavimento asfáltico previsto en la zona de calzadas y antes de verter las tierras en las zonas ajardinadas.

6- CONCLUSIONES

Las fisuras que se han manifestado en la superficie de la losa del puente del paso inferior de la Rotonda de La Bandera no han causado detrimento de la resistencia necesaria para el cumplimiento de sus funciones.

Sin embargo, se recomienda que las fisuras de más de 0.5 mm sean selladas con sustancia epoxídica con el fin de que, allí donde se presenten esas fisuras, se recupere la capacidad estructural de diseño.

Por lo tanto, no se requeriría la inyección con sustancia alguna que tenga como objeto recuperar resistencia perdida.

Para garantizar la integridad y durabilidad a lo largo de la vida útil del puente es necesario diseñar y aplicar una impermeabilización adecuada en base a sellador y a protección del sellador. (Resaltado no forma parte del original)

Posterior al POE-09-2022-0092 del 18 de febrero 2022, el LanammeUCR comunicó las observaciones al cierre del proyecto en el oficio y nota-informe EIC-Lanamme-427-2022 del 29 de junio 2022. En el mismo se presentan puntos pendientes de atención en cuanto a la calidad final de la obra donde se refiere que el trabajo realizado no permite garantizar que la reparación solvente la condición de agrietamiento en las losas, a lo que la Administración brindó respuesta con el oficio POE-02-2022-0414 del 18 de julio 2022 con los informes: 96800/220523/DF/134, 96800/220525/DF/138 y 22-BAC-VIETO-077 como adjuntos, y se indicó que la obra se encuentra en un periodo de 12 meses en el cual se ha de atender varias de las observaciones identificadas durante el proceso de construcción e indicadas por LanammeUCR en el oficio EIC-Lanamme-427-2022.

Con el fin de corroborar la efectividad de la medida correctiva y si el procedimiento de inyección satisface la inyección de las grietas, el LanammeUCR procedió a la extracción de núcleos en varias fechas sobre las zonas agrietadas y donde se apreciaba la colocación de los materiales de inyección. Mediante el informe de ensayo EIC-Lanamme-INF-0451-2022 del LanammeUCR con fecha del 7 de abril del 2022, en la Tabla 2, se muestra la condición





de los núcleos extraídos en distintas fechas y zonas del tablero del paso superior de la rotonda de La Bandera, para la extracción total de 30 núcleos.

Las fechas de extracción de dichos núcleos fueron: 07 febrero, 08 febrero, 11 marzo, 14 marzo y 21 marzo del 2022. De acuerdo con los resultados del informe, cinco muestras no evidenciaron grietas, lo que podría indicar que la zona donde se extrajeron los núcleos era concreto sano. Nueve de los núcleos no evidenciaron material de relleno en la grieta, lo que quiere decir que los núcleos sí presentaron grietas, pero el material de inyección no penetró nada de la grieta. Siete de los núcleos demostraron un relleno parcial de la grieta de forma que evidencia que el material de relleno o inyección penetró en la grieta de forma parcial. Y finalmente 9 núcleos se identificaron con relleno total de la grieta.

Tabla 2. Resumen de los resultados de los núcleos obtenidos por el LanammeUCR de las losas de la rotonda de La Bandera. Fuente: Informe de ensayo EIC-Lanamme-INF-0451-2022

| Clasificación Observación | Descripción | Muestras con esta condición | |
|---------------------------|--|-----------------------------|-------|
| 1 | No se evidencia grieta | 5 | 16,7% |
| 2 | No se evidencia material de relleno en la grieta | 9 | 30,0% |
| 3 | Se evidencia material de relleno en la grieta de forma parcial | 7 | 23,3% |
| 4 | Se evidencia material de relleno en la grieta de forma total | 9 | 30,0% |

Durante las visitas al sitio de proyecto y desde el mes de febrero cuando se extrajeron los primeros núcleos por parte del LanammeUCR, fue identificado por Contratista, Supervisión, Administración y LanammeUCR, que el espaciamiento entre las boquillas de inyección era una variable sobre la que se debía tener sumo control, ya que, si las mismas excedían la distancia especificada, el riesgo de que la inyección no penetrara por completo en la grieta se incrementaba. De forma tal que el espaciamiento debía ser igual o menor al especificado (15 cm según los procedimientos de reparación de fisuras en losa de concreto: PYC-307-2022-UN-LB y PYC-319-2022-UN-LB) para garantizar que la grieta se sellara integralmente y así asegurar que no existiera ingreso de agua a través de las losas.

Sin embargo, como se puede apreciar en las Figura 10 y Figura 11, equipo auditor evidenció durante las diferentes visitas que en algunos casos el espaciamiento entre boquillas fue mayor al especificado en los procedimientos, llegando incluso hasta 27 cm.



Figura 10. Separación entre boquillas de inyección de aproximadamente 24 cm, 27 cm y 25 cm. Fecha: 14 y 17 marzo 2022.



Figura 11. Separación entre boquillas de inyección de aproximadamente 27 cm. Fecha: 17 marzo 2022.





Asimismo, se pudo identificar por medio de la extracción de núcleos por parte del LanammeUCR, como aquellos lugares donde la separación entre las boquillas de inyección era mayor a 15 cm (aproximadamente) presentó sellado de grietas incompleto o nulo (ver Figura 12 y Figura 13), mientras que donde se tuvo mayor control en la separación de las grietas, el sellado presentó una tendencia a estar completo. La Supervisión evidenció la extracción de núcleos por parte del LanammeUCR donde se constató que la técnica no estaba siendo efectiva y los núcleos no estaban inyectados de forma íntegra. Así, no se cumplió con la condición del procedimiento de reparación esperado.

Figura 12. Grietas identificadas que no fueron inyectadas en las losas de la rotonda de La Bandera, próximas a los paños 33 y 34 (costado sur), y núcleo extraído el 16 de marzo que evidencia la presencia de grietas y donde el proceso de inyección no fue satisfactorio. Fecha: 16 marzo 2022.



Figura 13. Núcleos extraídos por el LanammeUCR con sellado de grietas incompleto o nulo.
Fecha: 21 marzo 2022.



- Sobre el procedimiento de inyección de grietas

En el primer procedimiento con referencia PYC-307-2022-UN-LB se indica claramente que la distancia entre inyectores será cada 15 cm máximo. Y en el segundo procedimiento con referencia PYC-319-2022-UN-LB se expone lo mismo.

Además, dentro de los documentos del proyecto, el Informe Proceso Constructivo y Control de Calidad Losa Rotonda La Bandera con referencia 22-BAC-VIETO-077 firmado el 26 de abril 2022 indica que “la única prueba permite evidenciar el llenado de las fisuras es la extracción de núcleos” y a través de las muestras de núcleos tomadas por el LanammeUCR en las distintas fechas según se muestra en la Tabla 2, queda en evidencia que las inyecciones no han sido satisfactorias y la condición de deterioros prematuros y reducción de la vida útil del tablero de concreto reforzado, permanece latente.

De acuerdo con lo anterior, partiendo de que los núcleos son la prueba para evidenciar el llenado de las grietas, queda claro con los núcleos extraídos por el LanammeUCR que la inyección de las grietas no fue satisfactoria y no se cumplió el objetivo de restituir la capacidad estructural y monolitismo al tablero, ya que, del total de núcleos extraídos por el LanammeUCR, únicamente un 30 % evidencia material de relleno en la grieta de forma total. Esto considerando que un 16,7 % de los núcleos se extrajeron en zonas sin grietas, pero donde había material que sugería inyección en superficie. De esta forma, no existe certeza de que la técnica aplicada genere atención de todos los deterioros prematuros presentados en el tablero.



En este sentido, queda en evidencia que, aunque la Supervisión, Gestión del Proyecto y Administración modificaran la frecuencia de muestreo a través de núcleos, la condición de grietas con inyección nula o parcial siguió latente y se pudo identificar por medio de la extracción de núcleos por parte del LanammeUCR, como aquellos lugares donde la separación entre las boquillas de inyección era mayor a 15 cm (aproximadamente) presentó sellado de grietas incompleto o nulo. Es criterio del equipo auditor, de que este tipo de deterioros no se consideran de la calidad aceptable para una obra nueva.

Así, es criterio del equipo auditor, que es posible identificar que el proceso de verificación de inyección es empírico, no siguió un procedimiento estandarizado y no se indica una especificación de los controles de inyección en virtud de las condiciones de las grietas. He ahí un elemento asociativo de lo evidenciado por el LanammeUCR en la extracción de núcleos con inyecciones completas, parciales y nulas. Igualmente, el Gestor del Proyecto, de acuerdo con los documentos contractuales, contó con los medios para haber rechazado todas las losas que presentaron esta condición de agrietamiento generalizado y deterioro prematuro en una obra nueva.

De esta forma, se debieron tomar acciones correctivas contundentes ante la falta de efectividad evidenciada con la extracción de los núcleos y al tratarse de deterioros prematuros generalizados en una obra nueva.

- Sobre el Anexo 1 del oficio POE-09-2022-0092: notas de UNOPS 96800/220211/ER/042 del 11 de febrero 2022 y 96800/220218/ER/054 del 18 de febrero 2022

El cambio de empresas en la realización de las inyecciones deja en evidencia los problemas suscitados ante el déficit en las inyecciones con las evidencias de los núcleos extraídos por el LanammeUCR (ver Figura 8 y Figura 9).

Así, se entiende que los “inconvenientes sufridos” a los que se refiere el oficio POE-09-2022-0092, es la evidencia de los núcleos sin penetración de inyección en las grietas.

- Sobre el Anexo 5 del oficio POE-09-2022-0092: Inventario de fisuras/levantamiento de grietas

Tal como se puede apreciar en la Figura 14 la presencia de grietas interconectadas fue generalizada en las losas del tablero de concreto reforzado. De acuerdo con la inspección visual, se puede apreciar que existe una alta densidad de grietas, al considerar la cantidad de boquillas y metros de grietas inyectadas en el área de las losas.



Figura 14. Densidad de grietas e inyecciones en las losas de la rotonda de La Bandera.
Fecha: marzo 2022.



- Sobre los riesgos ante los deterioros prematuros en la obra nueva y criterios de expertos estructurales

Asimismo, tal como lo indicado por el ingeniero estructural del gestor de proyecto UNOPS en el oficio POE-09-2022-0092 del 18 de febrero 2022, se debe garantizar una adecuada impermeabilización y sellado de las losas para asegurar la vida útil de la estructura, ya que las grietas permiten el ingreso de agua hasta el acero de la losa, lo que favorece la corrosión y con ello, la pérdida de acero en el tablero, que lleva a la pérdida de la capacidad de la losa. Sin embargo, el sellado íntegro de las grietas no se garantiza, tal como queda en evidencia en los núcleos extraídos. Con ambos subcontratistas del procedimiento de inyección grietas se hallaron núcleos (y por lo tanto zonas de las losas) con inyecciones completas, parciales y nulas, es criterio del equipo auditor que no se puede garantizar que la solución propuesta permita llegar a la condición indicada por el ingeniero estructural de UNOPS y con el criterio expresado por la Unidad Ejecutora.

Y de acuerdo con los expertos técnicos del PIE se debe garantizar que se evite cualquier filtración hacia el acero de refuerzo que afecte la durabilidad del elemento y dentro del túnel,



y con lo evidenciado sobre la inyección de las grietas en el tablero, esta condición no se puede garantizar.

De acuerdo con el descargo POE-09-2023-0173 con fecha del 22 de mayo de 2023 y la nota de UNOPS 96800/230517/DF/030 del 17 de mayo de 2023, se indica que el gestor del proyecto extrajo 94 núcleos posterior a la campaña inicial de inyección de grietas, de los cuales 10,36% mostró fisuras parcialmente llenas con material epóxico. Sobre los resultados obtenidos por la supervisora y observaciones realizadas en el oficio de descargo POE-09-2023-0173 con fecha del 22 de mayo de 2023, se concuerda con el criterio emitido por UNOPS en que el tamaño de muestra es mayor, sin embargo, las muestras extraídas por el LanammeUCR dejan en evidencia que durante las diferentes etapas de la reparación tanto en el proceso de inyección inicial, como de reinyección realizada por diferentes subcontratistas, no se garantiza la efectividad de la inyección. Lo anterior, debido a que las muestras del LanammeUCR no arrojan evidencia para afirmar que las reparaciones fueron efectivas en todas las intervenciones realizadas, ya que, tanto en la primera campaña de inyección como en la de reinyección, se extrajeron núcleos cuyas grietas no estaban rellenas integralmente.

Al respecto, la Unidad Ejecutora “solicitó a UNOPS que se informara de las acciones a seguir, así como el procedimiento de reparación” y planteó “su inquietud al gestor y solicitó aclaración” en los oficios POE-09-2022-0073 del 8 de febrero de 2022 y POE-09-2022-0146 del 15 de marzo de 2022. Lo anterior fue reiterado por la Unidad Ejecutora en el descargo: oficio POE-09-2023-0173 del 22 de mayo de 2023.

OBSERVACIÓN 2: SE EVIDENCIÓ QUE EL CRITERIO DE ANCHO DE REPARACIÓN DE GRIETA INDICADO EN LOS PROCEDIMIENTOS ES MAYOR AL QUE RECOMIENDA LA NORMATIVA INTERNACIONAL.

Como se mencionó, en el Anexo 3 del POE-09-2022-0092 del 18 de febrero 2022 y como parte de la atención de las grietas, se enviaron los procedimientos de reparación con referencias PYC-307-2022-UN-LB del 1° de febrero 2022 y PYC-319-2022-UN-LB del 14 de febrero 2022. En el PYC-307-2022-UN-LB se indica que se tratarían las fisuras de forma diferente, aquellas mayores a 2 mm de ancho y las de igual o menor a 2 mm. En el PYC-319-2022-UN-LB se indica cual es el procedimiento de reparación de fisuras mayores a 0,5 mm de ancho.

En cuanto a la decisión del Gestor del Proyecto de no tratar grietas con ancho menor de 0,5 mm, es criterio del equipo auditor que se encuentra en contraposición con lo indicado por ACI 224R-01 (Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón en su Tabla 4.1 Guía para anchos de fisura razonables, hormigón armado bajo cargas de servicio), ya que el ancho a partir del cual se deben tratar las grietas, es de 0,30 mm, lo cual demuestra que las referencias internacionales en la materia, sugieren un ancho de grieta menor al aceptado por UNOPS (ver Tabla 3).





Tabla 3. Guía para anchos de fisura razonables, hormigón armado bajo cargas de servicio.
Fuente: ACI 224R-01

Tabla 4.1 – Guía para anchos de fisura razonables*, hormigón armado bajo cargas de servicio

| Condición de Exposición | Ancho de fisura | |
|---|-----------------|------|
| | in. | mm |
| Aire seco o membrana protectora | 0,016 | 0,41 |
| Humedad, aire húmedo, suelo | 0,012 | 0,30 |
| Productos químicos descongelantes | 0,007 | 0,18 |
| Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado | 0,006 | 0,15 |
| Estructuras para retención de agua† | 0,004 | 0,10 |

* Es de esperar que una parte de las fisuras de la estructura superarán estos valores. Con el tiempo, el porcentaje de fisuras que superan estos valores puede ser significativo. Estos son lineamientos generales para el diseño, que se deben utilizar juntamente con un sólido juicio profesional.

† Excluyendo tuberías sin presión.

En relación con el proceso de inyección y el ancho de fisuras, el Boletín 1 de RAP del ACI, Guía Práctica de Procedimientos de Aplicación para Reparaciones de Concreto, Reparación de Grietas Estructurales por Inyección de Resinas Epóxicas, por Brian F. Keane, hace referencia a la selección del material de inyección y refiere que en cuanto al ancho de grietas que “Para las grietas con espesores de 0,3 mm (0,010 pulg.) o menores, utilice una resina epóxica de baja viscosidad (500 cps o menos). Para grietas más anchas, o donde el acceso a la inyección se limita a un solo lado, el uso de un material con una viscosidad media a viscosidad de gel, puede ser más adecuado.”

OBSERVACIÓN 3: SE EVIDENCIARON OPORTUNIDADES DE MEJORA EN LAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS Y DE CONTROL PARA EVITAR EL AGRIETAMIENTO EN LAS LOSAS DEL TABLERO DE LA ROTONDA DE LA BANDERA

Las primeras losas del tablero del paso superior de la rotonda de La Bandera que se identificaron con grietas por el LanammeUCR el 14 de enero 2022 fueron coladas el 7 de enero 2022, según consta en el Informe Proceso Constructivo y Control de Calidad Losa Rotonda La Bandera con referencia 22-BAC-VIETO-077 firmado el 26 de abril 2022, la colada de la losa se realizó entre las 6 am y la 1 pm. Además, las losas que se colaron el 13 de enero 2022, se colaron entre las 6 am y las 11:30 am. Asimismo, el tránsito en la rotonda permaneció abierto.

En la zona del proyecto, durante las horas de la mañana y cercanas al medio día se pueden presentar condiciones atmosféricas no favorables a considerar cuando se coloca concreto en el marco de las buenas prácticas de ingeniería. Según la sección 552 de la actualización del CR-2010 “Razón de evaporación de humedad superficial”, se considera que la



temperatura del aire, humedad relativa, temperatura del concreto y velocidad del viento, inciden la tasa de evaporación del concreto.

En este apartado se indica que:

Clima caliente: Se considera como condiciones de clima caliente cuando en cualquier momento durante la colocación del concreto hidráulico la temperatura ambiente en el sitio de trabajo sea mayor a 27 °C, o cuando de acuerdo con las condiciones de temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad del viento en el sitio se estime una razón de evaporación potencial mayor a 0,5 kilogramo por metro cuadrado por hora (kg/m²/h), según el nomograma en la Figura 552-01 Razón de evaporación de humedad superficial.

...

Cuando se coloque concreto hidráulico en la losa de los puentes o en otras losas expuestas, se debe limitar la evaporación esperada a una razón menor de 0,5 kilogramos de agua por metro cuadrado por hora, como se especifica en la Figura 552-1. La velocidad del viento se podrá obtener de la información que brinda el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) o bien con cualquier dispositivo debidamente aprobado por la Administración.

Figura 15. Razón de evaporación de humedad superficial. Fuente: MOPT, CR-2010.

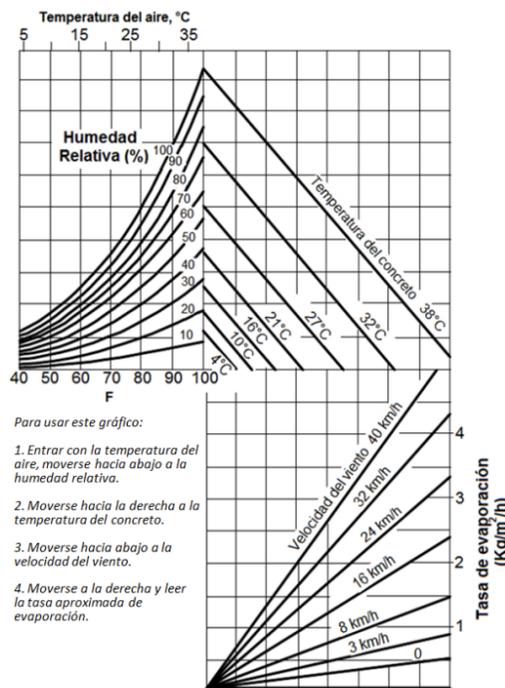


Figura 552-01

Razón de evaporación de humedad superficial

Fuente: ACI 305-R-10 Guide to Hot Weather Concreting



Como se puede observar cuando se coloca concreto es de suma importancia monitorear estas variables para poder limitar la razón de evaporación de humedad superficial en el concreto. Esta misma figura se presenta en los documentos contractuales, específicamente el Tomo 7, C) Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto de las Intersecciones de La Bandera y Guadalupe, San José (Costa Rica), Proyecto de Diseño de Detalle elaborado por Euroestudios en la versión de julio 2015. Así, al apreciar los rangos de horas de colado de las losas y en relación con las condiciones ambientales en la zona, es parte de las buenas prácticas de ingeniería, realizar los colados de concreto cuando la temperatura del día se encuentra en sus rangos más bajos, los cuales usualmente son en las horas de noche y madrugada.

Esto se relaciona con lo indicado en el informe EIC-Lanamme-INF-0135-2022 de febrero 2022 emitido por el Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR, en cuanto a que la causa aparente del agrietamiento es atribuida a una retracción plástica producto de una pérdida acelerada del agua en la superficie del concreto previo al fraguado final cuando el concreto no ha desarrollado suficiente resistencia.

Como parte del Informe Proceso Constructivo y Control de Calidad Losa Rotonda La Bandera con referencia 22-BAC-VIETO-077 firmado el 26 de abril 2022, se menciona que se “controló temperatura ambiental, humedad relativa y velocidad de viento como referencia”, se utilizó membrana de cura y protección de geotextil con humedad. Aun así, emergieron grietas en dichas losas y no son de conocimiento del equipo auditor los registros de hora, ubicación, temperatura ambiente, humedad, temperatura del concreto, velocidad del viento, evaporación y frecuencia con que se tomaron los mismos, ya que los presentados son indicados como “referencia”.

En el Informe Proceso Constructivo y Control de Calidad Losa Rotonda La Bandera con referencia 22-BAC-VIETO-077 firmado el 26 de abril 2022, sección 1.3 Sobre la identificación de las fisuras, se indica que: “17 de enero del 2022 posterior al descubrimiento de la losa y habiéndose removido el geotextil; como parte de las labores de Supervisión, se realizó la inspección de la losa colada y se identificó el reflejo de fisuras en la losa del Puente Rotonda”, sin embargo, esta situación se comunicó por parte del equipo auditor durante la gira al proyecto el 14 de enero 2022.

En vista de lo suscitado con las losas del tablero de la rotonda de La Bandera, el Contratista optó por cambiar sus prácticas en las losas del viaducto frente a la Facultad de Derecho UCR, de forma que el colado del concreto inició en horas de la tarde y hacia la noche, cuando la temperatura del día tiene a descender, lo cual favorece, como se mencionó previamente, que la retracción por secado sea menor.

Para la construcción de las losas del viaducto frente a la Facultad de Derecho UCR, se evidenció que el inicio de las colocadas se dio al final de la tarde, lo cual se considera una buena práctica de ingeniería.



Así mismo, se evidenció el uso de mamparas rompevientos, colocación de membrana de cura posterior al colado del concreto, se dio acabado a la superficie, se colocó material geotextil como protección para mantener la humedad en las losas (ver Figura 16). Es importante mencionar que, en las losas del viaducto frente a la Facultad de Derecho UCR, no se evidenciaron agrietamientos.

Figura 16. Colado de losas en el viaducto Derecho UCR. Fecha: 11 marzo 2022.



Además, según se indica en el Informe Mensual de Avance de Supervisión del mes No. 3 marzo 2022 elaborado por la Supervisión BAC – Vieto, firmado el 12 de abril 2022:

...se realizó la colada de la losa correspondiente al tablero del vano 2, es decir de la Pila 1 a la Pila 2, Viaducto UCR. Para este día, adicional al muestreo de concreto para determinar resistencia a la compresión, temperatura de concreto, asentamiento y contenido de aire, esta Supervisora verificó la temperatura ambiental, humedad relativa y velocidad del viento, esto como referencia, sin embargo, es importante hacer hincapié que como buena práctica constructiva, el contratista incorporó la aplicación de retardante de fragua y ha mantenido la aplicación de membrana de cura así como protección de geotextil con humedad, evitando así la evapotranspiración del concreto.

Según dicho informe, la temperatura ambiental registrada a las 11:06 pm fue 22,2 °C y 53 % de humedad relativa.

Es criterio del equipo auditor que para el colado de elementos como losas es recomendable tomar en cuenta los factores que se indican en el nomograma de la Figura 9 de la sección 552 Concreto de la actualización del CR-2010, para con esto poder evitar agrietamientos prematuros. Una buena práctica a la hora colar losas de concreto es evitar las horas más calientes del día, así como usar retardante de fragua para evitar la retracción plástica en el concreto.



La Unidad Ejecutora refuerza el criterio del equipo auditor al coincidir en el descargo POE-09-2023-0173 al informe preliminar que “se debían aplicar las oportunidades de mejora y lecciones aprendidas producto de los problemas presentados en la colada de la losa del tablero del puente de la rotonda; es por esto que se tomaron medidas de prevención durante la construcción de la losa del viaducto sobre el acceso a la UCR específicamente en lo que se refiere al control de la temperatura y el viento para evitar el agrietamiento prematuro, lo cual produjo resultados positivos en este elemento”.

OBSERVACIÓN 4: SE EVIDENCIÓ QUE LA ADMINISTRACIÓN NO IMPLEMENTÓ EL MÉTODO DE ENSAYO DE LA ACTUALIZACIÓN DEL DECRETO EJECUTIVO NO. 40333-MOPT PUBLICADO EN LA GACETA, ALCANCE NO. 99 DEL 9 DE MAYO DE 2017, DE LA SECCIÓN 302.03 DISEÑO DE MEZCLA (EQUIVALENTE A BE-25) CR-2010, PARA LA REALIZACIÓN DEL MOLDEO DE ESPECÍMENES DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO, LO CUAL INCIDIÓ EN EL ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIAS PARA LA EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DEL MATERIAL.

Como parte de la evaluación de las prácticas constructivas y de la calidad de los materiales del proyecto, se revisaron las especificaciones para la base estabilizada con cemento, las cuales se encuentran en el Tomo 7, C) Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, Sección 304.) Estabilización de los agregados, subsección 304.03 Dosificación, donde se señala respecto a la elaboración de especímenes para la evaluación del parámetro de resistencia a la compresión que “se debe utilizar un mínimo de 4 puntos para determinar la densidad máxima y el contenido óptimo de humedad de las tres mezclas de acuerdo con AASHTO T 134.”

Además, durante el proceso de auditoría y las giras al proyecto en el mes de agosto del 2021, el equipo auditor consultó por las especificaciones de la base estabilizada con cemento y la utilización de lo indicado en el oficio No. LM-PI-0125-2018 del 14 de mayo de 2018.

Seguidamente, la Unidad Ejecutora POEIV-BCIE/CONAVI envió el oficio POE-09-2021-0643 de fecha 14 de septiembre de 2021 y la nota de UNOPS 96800/210914/ER/246 con las especificaciones para la base estabilizada que estaban siendo utilizadas en el proyecto.

En estos documentos se indicó que: “las especificaciones contractuales fueron actualizadas ... para la especificación CR 304” y que se considera “aplicar las recomendaciones indicadas por ese Laboratorio en el oficio No. LM-PI-0125-2018 siempre con el objetivo de dar espacio a las oportunidades de mejora en calidad y procesos que puedan ser aplicadas en las obras, dentro del marco contractual vigente para la obra”. Y que: “se implementará el uso del mazo de mayor peso según AASHTO T134” y “se realizará una densificación de referencia en 3 capas.” (p.1).

Así, el método de densificación y elaboración de los especímenes utilizado en el proyecto difiere de la actualización de la normativa vigente y estandarizada, ya que, según la norma



el moldeo de los especímenes de base estabilizada con cemento se ejecuta en cinco capas, mas en el proyecto se modificó este método de forma que el moldeo se realizó en tres capas; con las demás variables en igualdad de condiciones.

En relación con ello, la nota 96800/210914/ER/246 del gestor del proyecto, se indica que se utilizó un mazo de mayor peso según AASHTO T134 y se realizó una densificación de referencia en 3 capas y que:

De las pruebas realizadas en sitio se identificó que para llevar el material en sitio a la densidad de referencia obtenida con 5 capas se requiere de una cantidad de energía sumamente alta, que se traduce en la necesidad de hasta 6 pasadas de compactador vibratorio, lo que provoca no solo una extensión considerable del tiempo de compactación, sino que además puede provocar rotura del agregado o un efecto abrasivo que deteriore el material recién colocado (p.1).

Junto con el oficio POE-09-2021-0643 del 14 de septiembre de 2021 y la nota de UNOPS 96800/210914/ER/246 del 14 de setiembre de 2021, se envió a esta Auditoría Técnica el Anexo 1: documento “Propuesta de especificaciones de materiales y construcción de base estabilizada con cemento para el proyecto de intercambio de La Bandera” con fecha del 9 de septiembre de 2021.

Este documento indica que se emplearon “las secciones y subsecciones de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica (CR-2010), todas correspondientes a actualizaciones de 2017 considerando apartado 703.05 y sección 304 y los aportes realizados en el Oficio LM-PI-0125-2018”. Sin embargo, no se implementó la actualización de la sección 302 del Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010 Revisión 2017, oficializada en el Decreto No. 40333-MOPT (publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 86 del 09/05/2017 Alcance No. 99). De acuerdo con el oficio POE-09-2021-0643 de fecha 14 de septiembre de 2021 se manifestó que:

...las especificaciones contractuales fueron actualizadas con el fin de tomar en consideración la actualización del Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010, esto para la especificación CR 304

...a pesar que no se encuentra especificado en proyecto y que no ha sido actualizado legalmente por instancias del MOPT o CONAVI en un nuevo manual CR, el equipo de proyecto realizó estudios exhaustivos en el proyecto para aplicar las recomendaciones indicadas por ese Laboratorio en el oficio No. LM-PI-0125-2018 siempre con el objetivo de dar espacio a las oportunidades de mejora en calidad y procesos que puedan ser aplicadas en las obras, dentro del marco contractual vigente para la obra.



El LanammeUCR presentó consultas en el oficio LM-EIC-D-0780-2021 del 21 de septiembre de 2021 relacionadas con el alcance del oficio LM-PI-025-2018 en cuanto a la normativa y especificaciones para la preparación de los especímenes. En dichos oficios se aclara que: “se deberán preparar los especímenes de acuerdo con la norma AASHTO T180 método C (molde de 4 in, 5 capas, 25 golpes, mazo de 4,54 kg)”. Por otra parte, en la “Propuesta de especificaciones de materiales y construcción de base estabilizada con cemento para el proyecto de intercambio de La Bandera” con fecha del 9 de septiembre de 2021 se refiere que: “se densificará en tres capas, como se establece en AASHTO T134 (Apartado 304), en vez de cinco capas.” A partir de lo cual, en la Tabla 4, se puede apreciar la diferencia entre el método normado (5 capas) y la especificación (3 capas).

Tabla 4. Comparación entre la actualización del CR-2010 en el 2017 y las especificaciones aplicadas en el proyecto en el documento Propuesta de especificaciones de materiales y construcción de base estabilizada con cemento para el proyecto de intercambio de La Bandera.

| Variable | CR-2010 actualización 2017 | Especificación BEC La Bandera |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Diámetro molde (pulgadas) | 4 | 4 |
| Cantidad de capas | 5 | 3 |
| Cantidad de golpes | 25 | 25 |
| Mazo (kg) | 4,54 | 4,54 |

La Administración brindó contestación por medio del oficio POE-09-2021-0684 del 04 de octubre de 2021 y la nota de UNOPS 96800/211001/ER/273 del 01 de octubre de 2021, a la cual CONAVI respondió que se había referido a la base estabilizada con cemento en el oficio No. POE-09-2021-0643 de fecha 14 de septiembre de 2021.

Con el oficio POE-09-2022-0089 del 16 de febrero de 2022 donde se adjunta la nota de UNOPS 96800/220215/ER/047 del 15 de febrero de 2022, la Unidad Ejecutora remitió el diseño de la base estabilizada actualizado, donde se respondió que: “La actualización del diseño responde a la necesidad de uniformizar los resultados de resistencia con respecto al diseño anterior en el que se utilizó cemento para base estabilizada”.

Respecto a lo indicado por la Supervisión en relación con el moldeo de los especímenes en tres capas, la actualización del CR-2010 en el 2017 y el oficio LM-PI-025-2018 son claros al indicar que para la sección 302.03 Diseños de mezcla (equivalente BE-25) “se deberán preparar los especímenes de acuerdo con la norma AASHTO T180 método C (molde de 4 in, 5 capas, 25 golpes, mazo de 4,54 kg)”. Así mismo, en la sección 302.11 Control de calidad en obra, se indica que “el método de compactación para la preparación de especímenes tanto para diseño como para control de calidad, deberá realizarse de acuerdo con AASHTO T180 Método C (molde de 4 in, 5 capas, 25 golpes, mazo de 4.54 kg)”.



El LanammeUCR en el oficio LM-PI-025-2018 había recomendado que el método para la compactación de especímenes se realice de acuerdo con la norma AASHTO T180 Método C que refiere la compactación (en laboratorio) de materiales utilizando una mayor energía -método conocido como Proctor Modificado- en comparación con el Próctor Estándar para el cual se utiliza una energía de compactación menor.

Lo anterior encuentra sustento en el Informe LM-PI-UIIT-079-R2, Calibración de especificaciones para bases estabilizadas con cemento en Costa Rica. Segundo informe de avance. Preparado por la Unidad de Investigación en Infraestructura del Transporte del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR en junio de 2020. En la sección 3.1 Sobre la Energía de Compactación se presenta la Tabla 5, donde se muestra que:

...el ensayo de Próctor Modificado, se asemeja más a la energía obtenida en campo con los equipos de compactación. La diferencia mayor es de 200 kN m/m³, mientras que con el ensayo de Próctor Estándar, estas diferencias son de más de 1000 kN m/m³, por lo tanto, se puede concluir que con este ensayo no se puede representar la energía de compactación en campo. (p. 23)

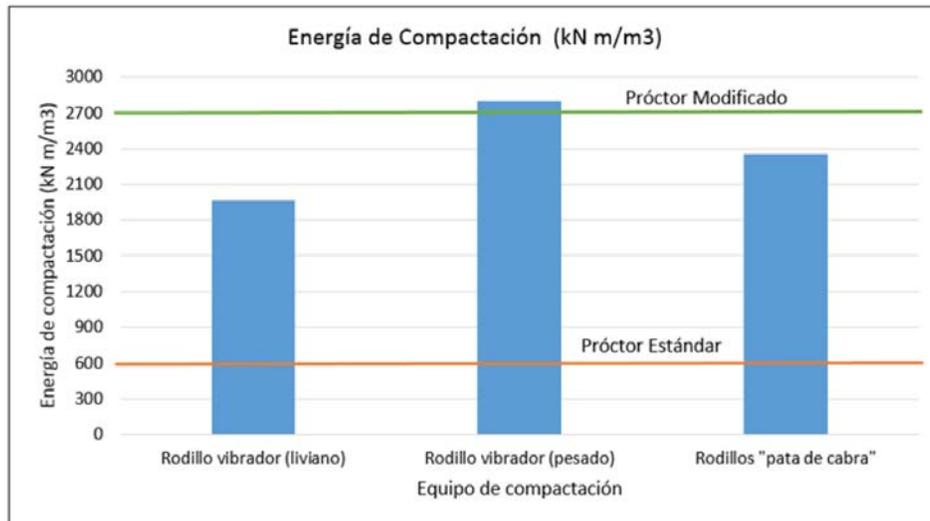
Tabla 5. Comparación de energía de compactación en campo y en laboratorio.

| Ente | Ubicación | Equipo | Método | Energía de Compactación | Energía de Compactación (Campo) | Diferencia |
|---|-------------------------------------|---|--------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Universidad Central del Ecuador (Luz,2013) | Quito, Ecuador | Motoniveladora y un rodillo vibrador | Próctor Modificado | 2700 kN m/m ³ | 2750 kN m/m ³ | 50 kN m/m ³ |
| Instituto de Desarrollo Urbano (IDU,2006) | Bogotá, Colombia | Un compactador de rodillo liso y uno de neumáticos (Pesado) | Próctor Modificado | 2700 kN m/m ³ | 2800 kN m/m ³ | 100 kN m/m ³ |
| Empresa Trabit (Trabit, 2014) | Madrid, España | Rodillo vibrador o rodillos neumáticos (Pesado) | Próctor Modificado | 2700 kN m/m ³ | 2800 kN m/m ³ | 100 kN m/m ³ |
| Instituto de Cemento Portland Argentino (ICPA,2015) | Buenos Aires, Argentina | Rodillos "pata de cabra" | Próctor Modificado | 2700 kN m/m ³ | 2400 kN m/m ³ | 100 kN m/m ³ |
| Instituto Mexicano del Transporte (IMT, 2018) | Ciudad de México, México | Compactadores vibratorios | Próctor Modificado | 2700 kN m/m ³ | 2750 kN m/m ³ | 50 kN m/m ³ |
| Instituto Tecnológico de Costa Rica (Benavides, 2005) | Cartago, Costa Rica | Rodillo vibrador (Liviano) | Próctor Estándar | 600 kN m/m ³ | 1960 kN m/m ³ | 1360 kN m/m ³ |
| Instituto Tecnológico de Santo Domingo (Toirac,2008) | Santo Domingo, República Dominicana | Rodillos "pata de cabra" | Próctor Modificado | 2700 kN m/m ³ | 2300 kN m/m ³ | 200 kN m/m ³ |

Nota: De Informe LM-PI-UIIT-079-R2, Calibración de especificaciones para bases estabilizadas con cemento en Costa Rica. Segundo informe de avance (p. 22), por Ávila-Esquivel, T., Sequeira-Rojas, W., Aguiar-Moya, J. P.,2020, <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2135>

También, del mismo Informe LM-PI-UIIT-079-R2 se considera la Figura 17 donde se pueden apreciar los resultados obtenidos con los diferentes equipos de compactación.

Figura 17. Energía de compactación y diferentes equipos del Informe LM-PI-UIIT-079-R2



Nota: De *Informe LM-PI-UIIT-079-R2, Calibración de especificaciones para bases estabilizadas con cemento en Costa Rica. Segundo informe de avance* (p. 22), por Ávila-Esquivel, T., Sequeira-Rojas, W., Aguiar-Moya, J. P., 2020, <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2135>

Con base en la justificación y recomendaciones presentadas en el Informe LM-PI-UIIT-079-R2 del 2020, se considera que “que el diseño de las bases estabilizadas con cemento se realice mediante el método Próctor Modificado, pues es el que mejor representa las condiciones de compactación en sitio.” (p. 49)

Tal como se aprecia en la Tabla 5 y Figura 17, la energía de compactación asociada al Proctor modificado es de 2,700 kN-m/m³, razón por la cual algunos investigadores como Nusit y Jitsangiam (2016) han utilizado el mismo nivel de energía, derivada de ensayos de compactación modificada, para trabajos de laboratorio para estudiar el comportamiento del deterioro de las bases estabilizadas con cemento.

De la misma forma, Gurtug y Sridharan (2004), trabajaron tres niveles de compactación distintos: Proctor estándar, Próctor modificado reducido (3 capas) y Próctor modificado. En la Tabla 6 se muestra la energía de compactación asociada con cada uno.



Tabla 6. Energía de compactación de los resultados experimentales usados en el estudio de Gurtug y Sridharan (2004)

Table 2. Experimental results used in the present study

| Sl. No | Compaction energy [†] | | No. of test results | Reference |
|--------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|---|
| | Designation | Magnitude (kJ/m ³) | | |
| 1 | Reduced Proctor*: RP | 355.5 | 9 | Blotz et al. (1998) Daniel and Benson (1990) Benson and Trast (1995) Daniel and Wu (1993) McRae (1958) |
| | | | 2 | |
| | | | 13 | |
| | | | 1 | |
| | | | 12 | |
| 2 | Standard Proctor: SP | 592.5 | 10 | Nagaraj (2000) McRae (1958) Johnson and Sallberg (1962) Foreman and Daniel (1986) Sridharan et al. (2001) Benson and Trast (1995) Blotz et al. (1998) Daniel and Benson (1990) Daniel and Wu (1993) Authors' present study |
| | | | 18 | |
| | | | 5 | |
| | | | 3 | |
| | | | 15 | |
| | | | 13 | |
| | | | 14 | |
| | | | 2 | |
| | | | 1 | |
| | | | 5 | |
| 3 | Reduced Modified Proctor**: RMP | 1616.0 | 5 | Authors' present study |
| 4 | Modified Proctor: MP | 2693.3 | 14 | Blotz et al. (1998) Daniel and Benson (1990) Benson and Trast (1995) Daniel and Wu (1993) McRae (1958) Authors' present study |
| | | | 2 | |
| | | | 13 | |
| | | | 1 | |
| | | | 18 | |
| 5 | | | | |

[†]Compaction energy is given here as energy imparted per unit volume of soil. The compacted volume is 1/30 cft or 944 cm³

* Reduced Proctor energy is 3/5th of standard Proctor energy (number of blows per layer is 15)

**Reduced Modified Proctor is 3/5th of modified Proctor energy (number of layers are three instead of five)

Nota: Se indica que la energía del Proctor modificado reducido es 3/5 del Proctor modificado con un número de capas de tres en vez de cinco.

De "Compaction Behaviour and Prediction of its Characteristics of Fine Grained Soils with Particular Reference to Compaction Energy" por Y. Gurtug y A. Sridharan, 2004, *Soils and Foundations*, volumen (44), NO.5, p. 27-36 (https://doi.org/10.3208/sandf.44.5_27)

De acuerdo con la Tabla 6, y lo investigado por Gurtug y Sridharan (2004) es evidente que la energía de compactación asociada con al Próctor modificado reducido (3 capas) es inferior a la energía del Proctor modificado, de forma que los resultados no son equiparables para la evaluación de calidad y aceptación de la base estabilizada con cemento.

En adición, Zvonarić et al. (2021) estudiaron la influencia del método de compactación en laboratorio en las características de compactación y resistencia de mezclas no ligadas y ligadas con cemento. Las mezclas se compactaron con el Próctor modificado y martillo vibratorio, y utilizaron cemento Portland en 3 %, 5 % y 7 % de la masa total del agregado. En cuanto la Próctor modificado, los investigadores refieren la energía aplicada de 2,66 MJ/m³. Es importante acotar que Zvonarić et al. (2021) indican que: "hay correlación fuerte entre las características de compactación y la resistencia obtenidas en condiciones de





laboratorio usando Proctor modificado y martillo vibratorio para mezclas de agregado natural” (p.10).

Además, Prasanna P. Kulkarni, J.N. Mandal (2022) utilizaron energía de compactación de $2,700 \text{ kN-m/m}^3$, de acuerdo con ASTM D1557, para evaluar la resistencia de suelo estabilizado con mezclas de nano sílica-cemento como material de construcción.

De esta forma, se puede concluir que con el fin de simular las condiciones de compactación y energía requeridas en sitio para el material granular colocado, la energía recomendada es $2,700 \text{ kN-m/m}^3$ lo cual se asocia a las 5 capas de las pastillas de base estabilizada.

Así, es criterio del equipo auditor que el método de compactación podría no ser representativo de acuerdo con el tipo de material utilizado en la base estabilizada del Paso a Desnivel La Bandera.

En razón de la modificación con el número de capas para el método de moldeo de los especímenes de base estabilizada con cemento, se incidió en el análisis comparativo de resistencias para la realización de la evaluación estadística del material, ya que se trata de especímenes en condiciones distintas a la práctica y la norma en Costa Rica. Y al utilizarse un método no normado ni estandarizado, se limita la comparación y revisión de los resultados para validar los mismos y garantizar el cumplimiento de los materiales utilizados en la construcción de la obra. Es criterio del equipo auditor, que la elaboración de los especímenes de base estabilizada en 3 capas es contraria a lo indicado en la actualización del CR-2010. Este tipo de cambios pueden afectar la estandarización de los resultados y a la postre dificultar la validez de los mismos.

En el descargo POE-09-2023-0173 de la Unidad Ejecutora y la nota 96800/230517/DF/030 del gestor del proyecto se indica que:

A la fecha del presente informe ha transcurrido el (sic) 100% del Plazo para la notificación de defectos de la obra (que comprende un año a partir de la recepción parcial de las obras) en donde se ha realizado un monitoreo constante de las obras. Durante este plazo no se han identificado problemas relacionados con el comportamiento de la base estabilizada y se ha mostrado un desempeño satisfactorio de la estructura de pavimento.

Si bien es cierto ha transcurrido un año desde la fecha de entrada en operación de las obras, el agrietamiento que podría presentar la base estabilizada con cemento por las altas resistencias y el agrietamiento por contracción térmica producto de estas, podría tardar años en reflejarse en la carpeta asfáltica en razón del espesor del pavimento. De ahí la importancia de controlar la calidad en la etapa constructiva, ya que este tipo de deterioros podrían no apreciarse en el período de corrección de defectos. Además, la estructura de pavimentos del proyecto se consideró para 20 años, de forma que la cantidad de ejes equivalentes a la que se ha visto sometida la estructura, no ha sido ni un 5 % del correspondiente a su vida útil. Razón por la



cual, es claro que no habría de esperarse ningún problema en dicha estructura ni en el material, a tan solo un año de puesta en operación.

HALLAZGO 2: SE EVIDENCIÓ QUE SE COLOCÓ MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON DISEÑOS DE MEZCLA ACTUALIZADOS NO APROBADOS A LA FECHA DE COLOCACIÓN.

Como parte del proceso de auditoría técnica se solicitó el envío de los diseños de mezcla asfáltica en caliente (MAC) de 12,5 mm y 19 mm que estaban siendo utilizados en la obra. La solicitud de la información se presentó en el oficio LM-EIC-D-0780-2021 del 21 de septiembre de 2021.

La Administración respondió a través de los oficios POE-09-2021-0684 del 4 de octubre de 2021, POE-09-2021-0750 del 4 de noviembre de 2021, POE-09-2022-0079 del 11 de febrero 2022 con la nota 96800/220210/ER/045 del gestor del proyecto, UNOPS. Así como el oficio POE-09-2022-0190 del 29 de marzo de 2022 con la nota de UNOPS 96800/220328/ER/081 del 29 de marzo de 2022.

En el oficio POE-09-2021-0684 del 04 de octubre de 2021 se indicó que:

...respecto al diseño aprobado de mezcla asfáltica en caliente a ser utilizada en el proyecto, tal y como se le ha indicado de manera verbal al equipo auditor, actualmente el diseño se encuentra en su fase de reproducción, por lo que aún no está aprobado. Una vez que este diseño esté aprobado y sea remito por UNOPS formalmente, se les hará llegar.

En el oficio POE-09-2021-0750 del 4 de noviembre de 2021 con la nota adjunta de UNOPS No. 96800/211103/ER/305 del 3 de noviembre 2021 se envió el diseño de mezcla asfáltica de la capa intermedia de 12,5mm, así como la nota 96800-05/211025/ER/196 del 25 de octubre de 2021 por medio de la cual se aprobó el documento de LGC Ingeniería de Pavimentos con nombre Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente Metodología SuperPave 12,7 mm realizado por el laboratorio ITP Informe No. ITP-535-2020-E2.

En relación con el oficio POE-09-2022-0079 del 11 de febrero 2022 donde se adjunta la nota 96800/220210/ER/045 del gestor del proyecto, UNOPS, con la actualización del diseño de mezcla asfáltica, se indicó que los diseños presentados eran una actualización del mes de enero 2022, ya que se presentó un cambio de proveedor y se dieron cambios en los lotes de asfalto. Así, la nota 96800/220210/ER/045 refiere que esto obligó a realizar nuevos diseños de mezcla asfáltica en caliente de 12 mm y 19 mm, y al 10 de febrero 2022 no se contaba con los resultados de fatiga.

Según el oficio POE-09-2022-0190 del 29 de marzo de 2022 y la nota adjunta 96800/220328/ER/081 del 28 de marzo 2022 del gestor del proyecto, se actualizaron los diseños de mezcla asfáltica en caliente de 12 mm y 19 mm que estaban siendo utilizados en el proyecto desde inicios del 2022. La nota de UNOPS indica que:





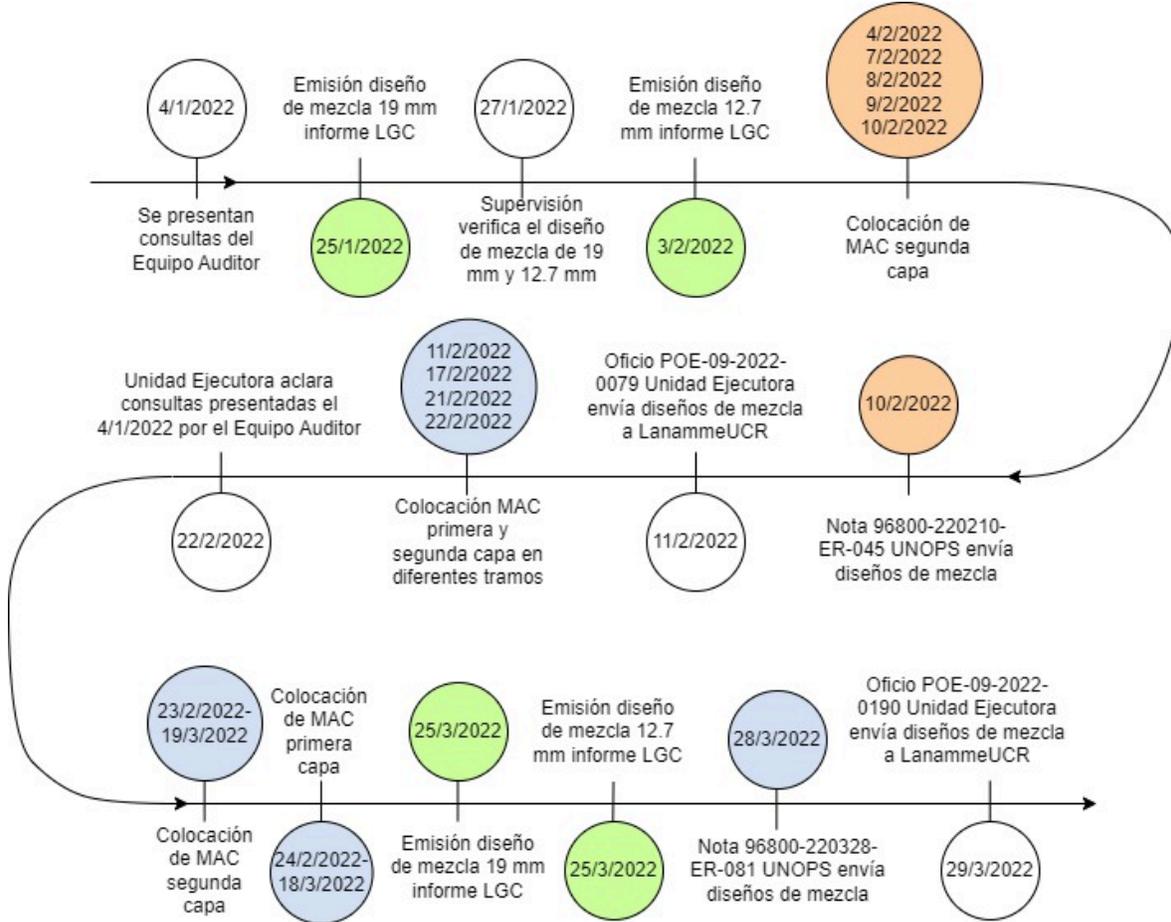
...considerando las correcciones realizadas atendiendo a las observaciones de UNOPS y Supervisora, se adjuntan los diseños de mezcla asfáltica en caliente que están siendo utilizados en el proyecto, desde inicios del 2022, tanto para TMN 12 mm como 19 mm.

De acuerdo con los documentos contractuales, Tomo 7, C) Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares en la versión de julio 2015, sección 401.) Mezcla de concreto asfáltico en caliente tipo Superpave procesada en planta central para superficie de ruedo, requerimientos para la construcción, subsección 401.03 Composición de la mezcla asfáltica (dosificación de diseño) se indica que:

d) Cambios y reenvío del Informe de Diseño de Mezcla. Si el informe de diseño de mezcla es rechazado, o una fuente de material o el material reciclado es cambiado, se debe suministrar una nueva fórmula de trabajo para su aceptación. Para la aceptación del cambio a la fórmula de trabajo, pueden ser necesarios hasta 21 días. Los cambios aprobados en la fórmula de trabajo no son retroactivos para el pago. (Subrayado no es parte del original)

En la Figura 18 se puede apreciar la secuencia cronológica de la colocación de MAC en primera y segunda capa, así como las fechas de emisión correspondientes a los diseños de las mezclas colocadas y las notas de envío de dichos diseños desde el Gestor del Proyecto a la Administración. De esta forma, es claro cómo se dio la colocación de MAC previo a la aprobación de los diseños, e inclusive, previo a la emisión o actualización del diseño correspondiente.

Figura 18. Línea cronológica de la emisión de los diseños de mezcla asfáltica, colocación de mezcla asfáltica y notas del Gestor del Proyecto enviando diseños a la Administración



Así, en relación con las fechas de presentación de los diseños de mezcla, su contenido y actualizaciones, no se cumple con lo establecido en los documentos contractuales, ya que la información no fue cambiada en el rango de 21 posteriores a la producción, sino durante la ejecución del mismo.

Además, se inició la colocación de mezcla asfáltica previo a la aprobación de los diseños actualizados. De esta manera, la mezcla asfáltica se colocó sin la aprobación previa. Es criterio del equipo auditor que esto puede incurrir en problemas de producción, y, por ende, en la calidad del material que se ha colocado.



10. CONCLUSIONES

A partir de los resultados evidenciados durante la ejecución de la auditoría, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua. En este apartado se resumen las conclusiones del presente informe de Auditoría Técnica, siendo importante recalcar el hecho de que de manera oportuna a lo largo del proceso de auditoría se ha comunicado a la Administración todas las conclusiones descritas a continuación, mediante oficios o notas-informe.

SOBRE LA REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS PREVIOS DEL PROYECTO

- La memoria de cálculo estructural aprobada por la Administración, posee incumplimientos con la normativa AASHTO LRFD 2010 al considerar una cantidad menor de carriles para la obra. Además, se identificaron omisiones de información que generan dudas e interfieren con el adecuado seguimiento de los procesos de diseño ante un revisor. Aunque estas omisiones no necesariamente indican que esas consideraciones no fueron apreciadas al momento del diseño, y algunas se incluyen como anexo en planos, la evidencia es omisa en la memoria de cálculo aprobada por la Administración.
- Los valores del coeficiente C de Creager y los valores de caudal máximo instantáneo obtenidos mediante el método de Creager no necesariamente son representativos de la cuenca en estudio, además de que fue seleccionado como metodología final bajo un criterio conservador, lo que puede llevar al sobre diseño de las obras hidráulicas. Se identificaron oportunidades de mejora en cuanto a la selección de información meteorológica y cálculo de tiempo de concentración.
- El estudio de suelos presentado es adecuado y cuenta con la información suficiente para establecer el modelo geológico – geotécnico. Los parámetros de resistencia de los materiales, a pesar de que no corresponden en su totalidad a los resultados de los ensayos realizados, se consideran adecuados dado que se encuentran del lado de la seguridad. No obstante, como Castro y de la Torre no plantea el diseño de la pantalla de pilotes como muro de contención, se desconoce si el responsable de este diseño requiere de algún parámetro adicional, por lo que la ampliación eventual de este estudio quedó sujeta a estas necesidades.
- Los estudios geotécnicos tienen oportunidades de mejora en cuanto al análisis de asentamientos, análisis del potencial de licuefacción y selección de materiales para base y subbase de pavimentos.



SOBRE LAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS DEL PROYECTO

- La condición de agrietamientos fue generalizada en las losas del tablero de la Rotonda de la Bandera según las inspecciones visuales y los levantamientos presentados por la Supervisora y por el LanammeUCR. Debido a la densidad y magnitud de las grietas en las losas es inaceptable para un proyecto de obra nueva.
- Se evidenció que el procedimiento de inyección de las grietas en las losas del tablero de la rotonda de La Bandera no mostró la efectividad esperada según los criterios solicitados por la ingeniería estructural y la Administración.
- El procedimiento de inyección de grietas utilizado no garantiza la efectividad de las inyecciones, como medida mitigatoria ante los agrietamientos, en el tablero de la rotonda de La Bandera.
- Los agrietamientos prematuros evidenciados pueden inducir una vida útil menor del tablero de la rotonda de la Bandera.
- Las referencias internacionales en la materia, sugieren un ancho de grieta a tratar menor al aceptado por UNOPS.
- Las prácticas utilizadas para la colocación de concreto masivo y con amplias áreas de exposición en las losas del tablero de la Rotonda de la Bandera, pudieron favorecer la formación de agrietamientos en las losas.
- Los registros de temperatura humedad y velocidad de viento no muestran valores exactos de medición, por lo cual no se permite asegurar que se cumple con la tasa de evaporación adecuada para la colocación de concreto en losas.
- Se evidenció que se no se utilizó la actualización disponible para la preparación y ensayo de los especímenes de la base estabilizada con cemento para la conformación, controlar el riesgo de agrietamiento y las resistencias fuera del límite superior del material.
- Se modificó el método de moldeo de las pastillas de base estabilizada en tres capas, en vez de cinco capas. A partir de lo cual se puede apreciar una diferencia entre el método normado (5 capas) y la especificación del proyecto (3 capas).
- Se evidenció que se utilizaron diseños de mezcla asfáltica para colocar material en el proyecto sin que antes el diseño fuese avalado por el gestor del proyecto UNOPS y su respectiva comunicación a la Administración, relacionados con el oficio POE-09-2022-0079 del 11 de febrero 2022 donde se adjunta la nota 96800/220210/ER/045 de UNOPS, con la actualización del diseño de mezcla asfáltica y se indicó que los diseños presentados eran una actualización del mes de enero 2022. Y según el oficio POE-09-2022-0190 del 29 de marzo de 2022 y la nota adjunta 96800/220328/ER/081 del 28 de marzo 2022 del gestor del proyecto, se actualizaron los diseños de mezcla asfáltica en caliente de 12 mm y 19 mm que estaban siendo utilizados en el proyecto desde inicios del 2022.



11. RECOMENDACIONES

A continuación, se listan algunas recomendaciones para que sean consideradas por la Administración, con el propósito de que puedan definirse e implementarse acciones integrales a futuros proyectos de infraestructura vial.

SOBRE LA REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS PREVIOS DEL PROYECTO

- Establecer e implementar un plan de control y aseguramiento de la calidad de la etapa de diseño.

SOBRE LAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS DEL PROYECTO

- Para futuros proyectos, implementar metodologías de reparación de grietas que garanticen el correcto llenado de las mismas, así como indicadores en los cuales se determine hasta qué punto una densidad de agrietamientos debe generar la demolición de las estructuras.
- Valorar otras técnicas de atención ante la falta de efectividad a la inyección de losas tal como se evidenció en varios núcleos extraídos.
- A partir de una muestra representativa, determinar si la solución implementada para la atención de deterioros es satisfactoria o bien, determinar las medidas para subsanar las deficiencias.
- En caso de incertidumbre de la medida implementada para la atención de los deterioros, se recomienda incrementar la frecuencia de ensayo para garantizar la efectividad de la misma y en caso de persistir la incertidumbre, se recomienda considerar una alternativa o procedimiento de mayor alcance.
- Para futuros proyectos, tomar en consideración las recomendaciones de la normativa internacional sobre el ancho de grieta a tratar en concreto reforzado.
- Para futuros proyectos, aplicar las mejores prácticas constructivas tal como se hizo en las losas del tablero del viaducto frente a la Facultad de Derecho UCR, tales como: iniciar y terminar las coladas de concreto en horas en que donde , el concreto se ve menos afectado por el calor de hidratación en sus primeras horas de fragua y ganancia de resistencia, eliminar las afectaciones de vibraciones en la zona de colado, utilización de mamparas corta vientos, colocación de curadores, curado constante, uso de aditivos que eviten el exceso de pérdida de hidratación del concreto, utilización de equipo adecuado para el acabado de las losas, llevar un registro de las condiciones ambientales que indiquen la razón de evaporación, entre otros.
- Implementar el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-2020, en la división 300, sección 302.04 Diseño de base estabilizada con cemento (equivalente a BE-25).
- Seguir lo estipulado en los documentos contractuales para la verificación y aprobación de los materiales del proyecto.





12. REFERENCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. (2010). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Fifth Edition. Washington D.C: AASHTO.
- American Concrete Institute, ACI Committee 224. (2001). Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón. Michigan, EE.UU.
- American Concrete Institute, ACI Committee 318. (2019). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. Michigan, EE.UU.
- ASTM, Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)), D1557, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- Euroestudios S.L. (2015). Proyecto de las intersecciones de la Bandera y Guadalupe, San José, Costa Rica. Proyecto de diseño de detalle.
- The Federal Highway Administration [FHWA]. (2011). Guidance on Quality Control and Quality Assurance (QC/QA) in Bridge Design. Documento recuperado de <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/h0817.pdf>
- Gurtug, Y., & Sridharan, A. (2004). Compaction Behaviour and Prediction of its Characteristics of Fine Grained Soils with Particular Reference to Compaction Energy. *Soils and Foundations*, 44(5), 27-36. https://doi.org/10.3208/sandf.44.5_27
- Kulkarni, P.P. & Mandal. J.N. (2022). Strength evaluation of soil stabilized with nano silica-cement mixes as road construction material. *Construction and Building Materials*, 314 (2022), p. 125363. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125363>
- MOPT. (2010). *Manual de Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-2010*. San José.
- MOPT, (2017). Decreto Ejecutivo DE No. 40333-MOPT publicado en La Gaceta, Alcance No. 99 del 9 de mayo de 2017, de la sección 302.03 Diseño de mezcla (equivalente a BE-25) CR-2010.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2017). Control of Concrete Cracking in Bridges. Washington, EE.UU.
- Nusit, K., & Jitsangiam, P. (2016). Damage Behavior of Cement-Treated Base Material. *Procedia Engineering*, 143, 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.021>
- Portland Cement Association, PCA. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. (1era edición). Illinois, EE.UU.



- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). SDP-001-2014 Ingeniería para el diseño de detalle, presupuesto, pliegos de especificaciones técnicas y documentos para licitación de las intersecciones Garantías Sociales, La Bandera-UCR y Guadalupe. San José, Costa Rica. Documento recuperado de <https://www.ungm.org/Public/Notice/27941>
- R. Cisneros (1998). XII Curso básico de Tecnología del Concreto: "Agrietamiento y Diagnostico". Coahuila, México.
- SIECA. (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*. El Salvador: Primera Edición.
- Taghvaye et al. (2016). Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy Water Environ* (2017) 15:123-132.
- Virginia Department of Transportation [VDOT] (2012). Minimum Requirements for Quality Assurance and Quality Control on Design Build and Public-Private Transportation Act Projects. [PDF]. VDOT Location and Design Division. Disponible en: https://www.virginiadot.org/business/resources/PPTA/Minimum_Requirements_for_QA-QC_-_January_2012.pdf
- Western, K (2017). Bridge Quality Management. [PDF]. Minnesota Department of Transportation, MnDOT. MnDOT Bridge Design Workshop presentations. Disponible en: <https://www.dot.state.mn.us/bridge/lrfd.html>
- Zvonarić, M., Barišić, I., Galić, M., & Minažek, K. (2021). Influence of Laboratory Compaction Method on Compaction and Strength Characteristics of Unbound and Cement-Bound Mixtures. *Applied Sciences*, 11(11), 4750. <https://doi.org/10.3390/app11114750>



| EQUIPO AUDITOR | | |
|--|--|--|
| Preparado por: Ing. Fiorella Murillo Contreras Auditora Técnica | Revisado por: Ing. Sergio Guerrero Aguilera Auditor Técnico | Revisado por: Ing. Francisco Fonseca Chaves Auditor Técnico |
| Revisado y aprobado por: Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc. Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica | Revisión Legal: Lic. Giovanni Sancho Sanz Coordinador de Asesoría Legal, LanammeUCR | Aprobado por: Ing. Rolando Castillo Barahona, Ph.D. Director General LanammeUCR |





13. ANEXOS

Anexo A. Análisis de descargo al Informe Preliminar EIC-Lanamme-0449-2023 y oficio POE-09-2023-0173 con fecha del 22 de mayo de 2023, descargo al Informe Preliminar EIC-Lanamme-0449-2023.

| | | |
|--|---|---------------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | Versión: 1 |
| Consecutivo: | | Página: 1/16 |

1. Nombre Informe

Informe en versión preliminar: EIC-Lanamme-INF-0449-2023

Análisis del caso y resumen de los criterios emitidos por el LanammeUCR sobre los estudios preliminares y prácticas constructivas del proyecto: Construcción de un Paso a Dnivel en la Facultad de Derecho UCR - Rotonda de La Bandera, Ruta Nacional No. 39

2. Descargo

El día martes 23 de mayo de 2023, se recibe vía correo electrónico el oficio POE-09-2023-0173 con fecha del 22 de mayo 2023, remitido por la Ing. Francini Chinchilla Torres y el Ing. Carlos Jiménez González, en el cual se adjunta la nota de UNOPS con referencia 96800/230517/DF/030 y fecha del 17 de mayo de 2023.

Así también, se enviaron adjuntos los archivos:

POE-09-2022-0073 de fecha 08 de febrero de 2022.

POE-09-2022-0146 de fecha 15 de marzo de 2022.

Correos Agrietamientos en losa de concreto puente PD La Bandera

Y como adjuntos a la nota de UNOPS 96800/230517/DF/030:

Apéndice 1 con el archivo: 22-BAC-VIETO-077 Informe proceso constructivo y control de calidad losa Rotonda La Bandera

Apéndice 2 con: los certificados de calidad de RECOPE con números 343M22, 361M22, 595M22, 1034M22, 1035M22, 1074M22, 1422M22, 1567M22 y 1863M22.

3. Análisis del descargo

De acuerdo con los procedimientos de esta auditoría técnica del LanammeUCR, este informe en su versión preliminar EIC-Lanamme-INF-0449-2023 fue remitido a la Administración y recibido el día 19 de abril del 2023 mediante oficio EIC-Lanamme-275-2023, para que fuese analizado y donde se indicó que la presentación oral del informe se realizaría el día 26 de abril de 2023 de forma virtual.

A partir de la fecha de envío del informe preliminar, se le otorgó un plazo de 15 días hábiles a la Administración para que se refiriera al informe preliminar de forma escrita, estableciéndose como plazo máximo el 10 de mayo de 2023.

El día 02 de mayo de 2023, se recibió el oficio POE-09-2023-0138 emitido por la Administración, solicitando una ampliación del plazo de entrega del descargo al informe para el día 19 de mayo de 2023. Posteriormente, mediante un correo electrónico del 18 de mayo de 2023, se solicitaron dos días adicionales, de forma que la fecha de entrega fue el 23 de mayo 2023.

La Administración brindó respuesta el día 23 de mayo de 2023 mediante el oficio POE-09-2023-0173, en el mismo se encontraba adjunto la nota 96800/230517/DF/030 emitida por la Oficina de las Naciones Unidas para Proyectos (UNOPS) el día 17 de mayo de 2023.

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| EIC-Lanamme-INF-0449-2023 | Setiembre, 2023 | Página 66 de 84 |
|---------------------------|-----------------|-----------------|





| | | | |
|--|---|--------------|--------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | | Versión: 1 |
| | Consecutivo: | Página: 2/16 | |

A continuación, se detalla el análisis correspondiente al descargo POE-09-2023-0173, la nota 96800/230517/DF/030 y los adjuntos indicados en la sección "2. Descargo" de este Anexo.

DESCARGO



San José, 22 de mayo del 2023

POE-09-2023-0173

Señor
 Ing. Rolando Castillo Barahona, Ph.D
 Director
 Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR)

Señora
 Ing. Wendy Sequeira Rojas, M.Sc
 Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica
 Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR)

Asunto: Contratación Directa No. 2015CD-000104-0BCIE: "Construcción y Supervisión de tres pasos a desnivel en la Ruta Nacional No.39 Carretera de Circunvalación, en la Rotonda de las Garantías Sociales, Facultad de Derecho UCR- Rotonda de la Bandera e Intersección Guadalupe y fortalecimiento de la Unidad Ejecutora del Programa de Obras Estratégicas de Infraestructura Vial". Respuesta a oficio No. EIC-Lanamme-275-2023 informe preliminar de auditoría EIC-Lanamme-INF-0449-2023 del proyecto Paso a desnivel La Bandera-UCR.

Estimado señor:

En atención al oficio No. EIC-Lanamme-275-2023 recibido en el CONAVI el 19 de abril de 2023, donde se envía el Informe Preliminar de Auditoría Técnica externa No. EIC-Lanamme-INF-0449-2023 titulado "Análisis del caso y resumen de los criterios emitidos por el LanammeUCR sobre los estudios preliminares y prácticas constructivas del proyecto: Construcción de un Paso a Desnivel en la Facultad de Derecho UCR – Rotonda La Bandera, Ruta Nacional No. 39", se adjunta la nota 96800/230517/DF/030 en la que el gestor de proyectos (UNOPS), brinda aclaraciones sobre los hallazgos y observaciones plasmadas en el informe.

Sobre los hallazgos y observaciones se considera prudente indicar lo siguiente:

- **Observación 1:** se identifican oportunidades de mejora en cuanto al contenido de los estudios preliminares del proyecto.

Se aclara que todas las observaciones brindadas por el equipo auditor (estructurales, hidrológicas, geotécnicas, entre otras) fueron atendidas y aclaradas por el gestor del proyecto y esta Unidad Ejecutora mediante los oficios que se indican a continuación:



Consejo Nacional de Vialidad. 100 metros Este de la Rotonda de Betania, Montes de Oca.
 Tel: (506) 2202-5300 Fax: (506) 2202-5315 Apartado Postal 616-2010 San José, Costa Rica
www.conavi.go.cr





| | | |
|--|---|--------------------------------|
|  LanammeUCR LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | Versión: 1 |
| Consecutivo: | | Página: 3/16 |



San José, 22 de mayo de 2023
POE-09-2023-0173
Página 2



Programa Obras Estratégicas Infraestructura Vial
Contrato de Préstamo No. 2080
Tel: (506) 2202-5326 Fax: (506) 2253-5705 email: unidad.ejecutora.boe@conavi.go.cr

| Oficio Unidad Ejecutora | Fecha | Nota UNOPS |
|-------------------------|-------------|---------------------|
| POE-10-2020-0402 | 20/5/2020 | 96800-200507-ER-106 |
| POE-09-2020-0717 | 11/9/2020 | 96800-200908-ER-223 |
| POE-09-2021-0106 | 10/2/2021 | 96800-200922-ER-233 |
| POE-09-2020-0769 | 2/10/2020 | 96800-201001-ER-246 |
| POE-09-2021-0540 | 0 3/08/2021 | 96800-210802-ER-200 |
| POE-09-2021-0663 | 22/9/2021 | 96800-210921-ER-259 |
| POE-09-2021-0700 | 7/10/2021 | 96800-211006-ER-276 |

Se resalta lo indicado por UNOPS en su nota, respecto a que en los casos en los que se identificaron oportunidades de mejora, estas fueron registradas e incorporadas como lecciones aprendidas y serán aplicadas en futuros proyectos:

"(...) las observaciones emitidas se consideran aspectos menores propios de cualquier proceso de revisión y que en ningún momento afectaron la validez de los estudios realizados ni generaron cambios significativos a los diseños. En los casos en los que se identificaron oportunidades de mejora, estas fueron registradas e incorporadas como lecciones aprendidas."

Por otro lado, respecto a lo indicado por el equipo auditor:

"Es criterio de esta Auditoría Externa que, si bien es cierto fue el diseñador quien desarrolló las memorias de cálculo, también la Administración y el gestor de proyectos poseen especialistas en las áreas competentes que deben de realizar las revisiones de estos documentos, sin embargo, tanto la Administración como el gestor de proyecto recibieron esta información con deficiencias."

Sorprende a esta Unidad Ejecutora, lo indicado en el párrafo anterior, dado que es de conocimiento del equipo auditor, los roles y responsabilidades que ha tenido esta Unidad Ejecutora, bajo la figura de los memorándum de acuerdo (Mda).

Los diseños forman parte de los productos contemplados en el Convenio de Asistencia Técnica aprobado entre CONAVI y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y la Oficina de Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS), en el que UNOPS fungió como agencia especializada; en cuanto a construcción, la misma forma parte de los alcances del Mda firmado entre el CONAVI y UNOPS denominado: "Construcción y supervisión de 3 pasos a desnivel en la Ruta Nacional N. 39 carretera de circunvalación, en la rotonda de las Garantías Sociales, Facultad de Derecho UCR - rotonda de La Bandera e intersección Guadalupe y fortalecimiento de la Unidad Ejecutora del Programa de Obras Estratégicas de Infraestructura Vial" y del cual posee copia el LanammeUCR; además, también es de conocimiento del equipo auditor, que esta Unidad Ejecutora no posee "especialistas en las áreas competentes", como lo indica en su informe, dado que para esto fue contratado el gestor del proyecto y se ha delegado la gestión integral de cada uno de los proyectos, aplicando las mejores prácticas y procedimientos ya establecidos en dicho organismo y en la ONU, asegurando la eficiencia, el control de calidad y la transparencia de todo el proceso.



Consejo Nacional de Vialidad. 100 metros Este de la Rotonda de Betania, Montes de Oca.
Tel: (506) 2202-5300 Fax: (506) 2202-5315 Apartado Postal 616-2010 San José, Costa Rica
www.conavi.go.cr





| | | |
|--|---|-------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | Versión: 1 |
| | Consecutivo: | Página: 4/16 |



San José, 22 de mayo de 2023
POE-09-2023-0173
Página 3



Programa Obras Estratégicas Infraestructura Vial
Contrato de Préstamo No. 2080
Tel: (506) 2202-6326 Fax: (506) 2263-6705 email: unidad.ejecutora.bde@conavi.go.cr

De acuerdo al MdA para la construcción del proyecto, el gestor contaba además del Gerente de Proyecto y los ingenieros auditores de obras y supervisión, con una Unidad Técnica, conformada por:

- un experto en diseño de obras viales y puentes
- un ingeniero civil o agrimensor o arquitecto con experiencia en topografía
- un ingeniero civil especializado en estructuras
- un ingeniero civil especializado en geotecnia
- un ingeniero electromecánico especializado en instalación y remoción de servicios públicos
- un profesional dedicado a la coordinación y comunicación.

Esta Unidad coincide con lo indicado por UNOPS en su nota, ya que la afirmación realizada por el equipo auditor sugiere que no se realizaron revisiones al diseño, lo cual es una afirmación incorrecta, dado que no solo los especialistas de UNOPS lo revisaron, sino además se contrató a una firma internacional llamada "ARUP" para tal fin, por lo que se solicita considerar el criterio plasmado por el equipo auditor y corregir la redacción del informe.

Así mismo, dado que las observaciones emitidas son aspectos menores que no produjeron cambios importantes en el diseño, se considera sean tratadas como oportunidades de mejora para futuros proyectos.

SOBRE LAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS DEL PROYECTO

- **Hallazgo 1:** el procedimiento utilizado para la inyección de las grietas en las losas del tablero de concreto reforzado de la rotonda de la bandera, no garantiza la penetración total de la inyección en las grietas y por lo tanto, no se garantiza la integridad y durabilidad del tablero.

Es importante mencionar que esta Unidad Ejecutora, al detectar la presencia de grietas y fisuras en la losa de concreto del puente, presentó la preocupación al gestor de proyecto y solicitó que se informara de las acciones a seguir, así como el procedimiento de reparación que realizaría el contratista y las fichas técnicas correspondientes de los materiales a utilizar (correos electrónicos del 14 de enero, 25 de enero, 26 de enero y 7 de febrero de 2022). Posteriormente, dada la presencia de núcleos producto de las extracciones que realizó el LanammeUCR, nuevamente esta Unidad plantea su inquietud al gestor y solicita aclaración de lo sucedido mediante oficios POE-09-2022-0073 del 8 de febrero de 2022 y POE-09-2022-0146 del 15 de marzo de 2022.

El gestor del proyecto, con el fin de atender el problema presentado, instruyó la extracción de 94 núcleos (todos custodiados por UNOPS y disponibles por si el equipo auditor desea observarlos) posterior a la campaña inicial de inyección de las grietas, de los cuales únicamente el 10.36% mostró fisuras parcialmente llenas con material epóxico. Esta cantidad de muestra, considerablemente mayor a la tomada por el LanammeUCR, permitió obtener evidencia de cada una de las zonas del tablero y conocer así de una forma más representativa el estado real de la losa.



Consejo Nacional de Vialidad. 100 metros Este de la Rotonda de Betania, Montes de Oca.
Tel: (506) 2202-5300 Fax: (506) 2202-5315 Apartado Postal 616-2010 San José, Costa Rica
www.conavi.go.cr





| | | |
|--|---|--------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | Versión: 1 |
| Consecutivo: | Página: 5/16 | |



San José, 22 de mayo de 2023
POE-09-2023-0173
Página 4



Programa Obras Estratégicas Infraestructura Vial
Contrato de Préstamo No. 2080
Tel: (506) 2202-5326 Fax: (506) 2253-5705 email: unidad.ejecutora.b0e@conavi.go.cr

Es importante mencionar que, posterior a la realización de la primera campaña de inyección, en las zonas donde se extrajeron núcleos cuyas fisuras no estaban completamente llenas de material epóxico, se procedió a hacer una reinyección completa de la zona. Posterior a esta reinyección se extrajeron nuevamente núcleos, resultando con fisuras completamente llenas. De esta forma, se garantizó que las reparaciones fueron efectivas.

Posteriormente, cuando se completó el sellado de todas las fisuras y se contó con la aprobación de todas las zonas intervenidas por parte de la inspección y UNOPS, el Contratista procedió a realizar una impermeabilización del tablero por medio de dos capas de mortero bituminoso. Esto se realizó con el fin de adicionar un sistema alternativo de impermeabilización que complementa el procedimiento de inyección para evitar la infiltración de agua superficial a la losa y aumentar su durabilidad.

- **Observación 2:** se evidenció que el criterio de ancho de reparación de grieta indicado en los procedimientos es mayor al que recomienda la normativa internacional.

Esta Unidad Ejecutora no tiene ningún comentario adicional a lo expresado en la nota 96800/230517/DF/030.

- **Observación 3:** Se evidenciaron oportunidades de mejora en las prácticas constructivas y de control para evitar el agrietamiento en las losas del tablero de la rotonda de la bandera.

Esta Unidad, así como el gestor del proyecto, coinciden en que se debían aplicar las oportunidades de mejora y lecciones aprendidas producto de los problemas presentados en la colada de la losa del tablero del puente de la rotonda; es por esto que se tomaron una gran cantidad de medidas de prevención durante la construcción de la losa del viaducto sobre el acceso a la UCR específicamente en lo que se refiere al control de la temperatura y el viento para evitar el agrietamiento prematuro, lo cual produjo resultados positivos en este elemento.

- **Observación 4:** se evidenció que la administración no implementó el método de ensayo de la actualización del decreto ejecutivo de No. 40333-mopt publicado en la gaceta, alcance no. 99 del 9 de mayo de 2017, de la sección 302.03 diseño de mezcla (equivalente a BE-25) CR-2010, para la realización del moldeo de especímenes de base estabilizada con cemento, lo cual incidió en el análisis comparativo de resistencias para la evaluación estadística del material.

Esta Unidad Ejecutora no tiene ningún comentario adicional a lo expresado en la nota 96800/230517/DF/030, sin embargo, es importante resaltar lo indicado por UNOPS en su nota:



Consejo Nacional de Vialidad. 100 metros Este de la Rotonda de Betania, Montes de Oca.
Tel: (506) 2202-5300 Fax: (506) 2202-5315 Apartado Postal 616-2010 San José, Costa Rica
www.conavi.go.cr





| | | |
|--|---|--------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | Versión: 1 |
| Consecutivo: | | Página: 6/16 |



San José, 22 de mayo de 2023
POE-09-2023-0173
Página 5

UNIDAD EJECUTORA
Programa Obras Estratégicas Infraestructura Vial
Contrato de Préstamo No. 2080
Tel: (506) 2202-5326 Fax: (506) 2253-5705 email: unidad.ejecutora.bole@conavi.go.cr

"A la fecha del presente informe ha transcurrido el (sic) 100% del Plazo para la notificación de defectos de la obra (que comprende un año a partir de la recepción parcial de las obras) en donde se ha realizado un monitoreo constante de las obras. Durante este plazo no se han identificado problemas relacionados con el comportamiento de la base estabilizada y se ha mostrado un desempeño satisfactorio de la estructura de pavimento."

- **Hallazgo 2:** Se evidenció que se colocó mezcla asfáltica en caliente con diseños de mezcla no aprobados a la fecha de colocación.

Como lo indica el gestor en su nota 96800-230517-DF-030, los diseños de mezcla sí habían sido aprobados con anterioridad, pero se vieron sometidos a un proceso de ajuste, producto de un control oportuno de los cambios en los lotes de asfalto suministrados por RECOPE que no podían ser previstos con anterioridad, por lo que debieron ser revisados y ajustados. Lo anterior dada la alta variabilidad y en periodos cortos de tiempo, de las características del asfalto suministrado, lo que requirió de constante revisión en el proyecto e implicó cambios en los diseños de mezcla generados en meses anteriores.

Dado lo anterior, se solicita considerar el criterio plasmado, modificar el Hallazgo 2 y readecuar su redacción.

Por otro lado, producto de esta situación presentada en varios proyectos, se reitera la solicitud realizada al LanammeUCR en la reunión de presentación del informe, para que se realicen estudios o se analice el efecto que genera en la industria de la construcción y mantenimiento de carreteras, la alta variabilidad en el asfalto y, de ser posible, presentar recomendaciones de cómo gestionarlo en proyectos en curso o incluso mejorar el proceso de control y adquisición por parte del RECOPE. Lo anterior debido a que, al ser el suministro de asfalto un monopolio, representa una problemática que afecta a todo el país y se escapa del alcance de gestión de los proyectos.

Finalmente, esta Unidad Ejecutora comparte lo indicado por UNOPS, en cuanto a la emisión de observaciones e informes de manera oportuna, como lo es indicado por el LanammeUCR:

"(...) la finalidad de estas auditorías consiste en que la Administración, de manera oportuna tome decisiones correctivas y ejerza una adecuada comprobación, monitoreo y control de los contratos de obra".

Dado que varios informes han sido emitidos tiempo después de iniciadas las obras (hasta 6 meses después), lo que no le permite a la gestión el suficiente espacio para aplicar mejoras u optimizaciones sugeridas sin generar retrasos o costos adicionales al proyecto.

Evidencia de lo anterior, además de los informes mencionados por UNOPS en su nota, es la emisión del informe que nos ocupa, el cual fue recibido por la Administración, un año después de haber finalizado la etapa constructiva del proyecto.



Consejo Nacional de Vialidad. 100 metros Este de la Rotonda de Betania, Montes de Oca.
Tel: (506) 2202-5300 Fax: (506) 2202-5315 Apartado Postal 616-2010 San José, Costa Rica
www.conavi.go.cr





| | | |
|---|---|---------------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | Versión: 1 |
| Consecutivo: | | Página: 7/16 |



San José, 22 de mayo de 2023
POE-08-2023-0173
Página 0

Se insta a que en futuros proyectos las observaciones, recomendaciones e informes sean comunicadas a la Administración con la antelación suficiente para que sea factible que el gestor y/o la Administración, puedan tomar las medidas pertinentes en caso de ser necesario.

Sin otro particular, se despide.

Atentamente,

CARLOS EUGENIO JIMENEZ GONZALEZ (FIRMA)
Firmado digitalmente por CARLOS EUGENIO JIMENEZ GONZALEZ (FIRMA)
Fecha: 2023.05.23 10:46:29 -0500'

FRANCINI CHINCHILLA TORRES (FIRMA)
Firmado digitalmente por FRANCINI CHINCHILLA TORRES (FIRMA)
Fecha: 2023.05.23 08:06:27 -0500'

Ing. Carlos Jiménez González, MAP
Gerente a.i
Unidad Ejecutora POEIV-BCIE/CONAVI

Ing. Francini Chinchilla Torres, MAP, MSc
Ingeniera de proyecto
Unidad Ejecutora POEIV-BCIE/CONAVI

Ing. Fiorella Murillo Contreras, Auditora Líder, LanammeUCR
Ing. Mauricio Batalla Oñorola, Dirección Ejecutiva, CONAVI
Lic. Reynaldo Vargas Soto, Auditoría Interna, CONAVI
Comisión de Auditorías Externas, CONAVI
Proceduría Institucional-CONAVI. Contratación Directa No. 2015CD-000104-0BCIE
Archivo / Copiador



Consejo Nacional de Vialidad. 100 metros Este de la Rotonda de Batavia, Montes de Oca.
Tel: (506) 2202-5300 Fax: (506) 2202-5315 Apartado Postal 616-2010 San José, Costa Rica
www.conavi.go.cr





| | | |
|--|---|--------------------------------|
|  LanammeUCR LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | Versión: 1 |
| Consecutivo: | | Página: 8/16 |

ANÁLISIS DEL DESCARGO

Observación 1: Se identifican oportunidades de mejora en cuanto al contenido de los estudios preliminares del proyecto

Tomando en consideración lo aclarado en el descargo POE-09-2023-0173, se considera válido lo indicado por la UE con respecto a que no cuentan propiamente con especialistas y esto corresponde como parte de las responsabilidades de UNOPS bajo la figura del Memorandum de Acuerdo (Mda), por lo que se realizan las siguientes modificaciones en el informe final:

Párrafo original: “Es criterio de esta Auditoría Externa que, si bien es cierto fue el diseñador quien desarrolló las memorias de cálculo, también la Administración y el gestor de proyectos poseen especialistas en las áreas competentes que deben de realizar las revisiones de estos documentos, sin embargo, tanto la Administración como el gestor de proyecto recibieron esta información con deficiencias.”

Modificación: “Es criterio de esta auditoría externa que, si bien es cierto fue el diseñador quien desarrolló las memorias de cálculo, el gestor de proyectos posee especialistas en las áreas competentes que se encargaron de realizar la revisión de los diseños, esto se indicó en la nota de UNOPS 96800-230517-DF-030 con fecha del 17 de mayo de 2023; sin embargo, el gestor de proyecto recibió esta información con las deficiencias señaladas.”

No obstante, vale la pena aclarar que la idea del párrafo no es “sugerir que no se realizaron revisiones al diseño”, sino indicar las oportunidades de mejora en cuanto al contenido y calidad de los estudios preliminares del proyecto, ya que es importante señalar que en el contenido de la Observación 1 se hace referencia a omisiones de los estudios previos en el área estructural e hidrológica.

Además, de acuerdo con el oficio POE-09-2023-0173 y la nota de UNOPS 96800/230517/DF/030, en donde se indicó que las observaciones emitidas se consideran aspectos menores que no generaron cambios significativos en el diseño y que se incorporaron como lecciones aprendidas para futuros proyectos, es de recibo por parte del equipo auditor, por lo que se incluye el siguiente párrafo en la versión final del informe:

De acuerdo con lo indicado en la nota de UNOPS 96800/230517/DF/030, “se tratan de oportunidades de mejora que serán incorporadas por UNOPS y sus profesionales para aumentar su conocimiento y generar mejores y más eficientes diseños, mismas que son transmitidas directamente al CONAVI en el acompañamiento de cada obra.”

Con respecto al comentario indicado en la nota de UNOPS 96800/230517/DF/030 referente al tiempo transcurrido entre el inicio de las obras y la entrega de observaciones a los diseños por parte de esta Auditoría Técnica, se aclara que en el caso de la nota-informe LM-EIC-D-0614-2021 del 19 de julio de 2021, la información en la que se basó la revisión fue la sección A.1.2.1 Carga Temporal

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| EIC-Lanamme-INF-0449-2023 | Setiembre, 2023 | Página 73 de 84 |
|---------------------------|-----------------|-----------------|





| | | | |
|--|--|---------------------|---------------------------------------|
|  LanammeUCR LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | | Versión: 1 |
| Consecutivo: | | Página: 9/16 | |

Vehicular (LL) del documento “Criterios de Diseño y Memoria de Cálculo Estructural. Diseño de Losa de Superestructura, Rotonda La Bandera” (2021.05.07 Memoria de Calculo Losa Superestructura Rotonda La Bandera_01), con fecha de mayo 2021. Además, según data en el “Informe Mensual de Avance de Supervisión”, mes No. 6 junio 2021 de BAC-Vieto, la “revisión planos taller de vigas y prelasas” por parte de la Supervisión se realizó en el mes de junio, en el tanto que la del LanammeUCR se remitió en julio.

Debido a lo anterior, la Observación 1 se mantiene, sin embargo, se incluyen las modificaciones mencionadas.

Hallazgo 1: El procedimiento utilizado para la inyección de las grietas en las losas del tablero de concreto reforzado de la rotonda de la bandera, no garantiza la penetración total de la inyección en las grietas y por lo tanto, no se garantiza la integridad y durabilidad del tablero.

Se está de acuerdo en que la Unidad Ejecutora “presentó la preocupación al gestor de proyecto y solicitó que se informara de las acciones a seguir, así como el procedimiento de reparación” y planteó “su inquietud al gestor y solicitó aclaración mediante oficios POE-09-2022-0073 del 8 de febrero de 2022 y POE-09-2022-0146 del 15 de marzo de 2022”.

En cuanto a los 94 núcleos extraídos, el equipo auditor concuerda en que el tamaño de la muestra es mayor, sin embargo, las muestras extraídas por el LanammeUCR dejan en evidencia que, durante las diferentes etapas de la reparación, tanto en el proceso de inyección inicial, como de reinyección y con diferentes subcontratistas, no se garantizó la efectividad de la inyección en la totalidad de reparaciones realizadas. Es decir, de las muestras del LanammeUCR se tiene evidencia que, tanto en la primera campaña de inyección como en la reinyección, se extrajeron núcleos cuyas grietas no estaban rellenas integralmente y no se puede garantizar que las reparaciones fueron efectivas ni se garantiza la calidad requerida de una obra nueva, con agrietamientos generalizados en las losas.

Con respecto al proceso constructivo, como parte del descargo en la nota de UNOPS 96800/230517/DF/030, se adjuntó en el Apéndice 1 el “Informe Proceso Constructivo e Inyección Losa Puente Rotonda La Bandera” con referencia 22-BAC-VIETO-077 del Consorcio BAC-Vieto. Este informe ya había sido remitido por la Administración y fue considerado para el informe en versión preliminar EIC-Lanamme-INF-0449-2023, en el cual se indicó que no se presentó evidencia de registros de hora, temperatura del aire, humedad relativa, temperatura del concreto, velocidad del viento, ni tasa de evaporación, ya que los datos presentados en el informe son indicados como “referencia”.

Asimismo, UNOPS indica en la nota 96800/230517/DF/030 “es posible concluir que las reparaciones realizadas en la losa del paso inferior son satisfactorias y que no se tienen afectaciones en la durabilidad e integridad estructural del puente”. Sin embargo, para el equipo auditor esta afirmación no se considera de recibo, tal cual se puede corroborar en el cuerpo del informe, según el desarrollo del hallazgo y sus respectivas evidencias técnicas.

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| EIC-Lanamme-INF-0449-2023 | Setiembre, 2023 | Página 74 de 84 |
|---------------------------|-----------------|-----------------|





| | | | |
|--|---|----------------------|---------------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | | Versión: 1 |
| | Consecutivo: | Página: 10/16 | |

Si bien la muestra analizada por la UNOPS, es mayor y tiene mayor representatividad, es importante señalar que la misma carece de información imprescindible, como lo es de dónde se extrajeron los núcleos y la separación entre boquillas, situación que no permite garantizar la efectividad de la medida al 100 %, como es requerido en una obra nueva. Por lo que para el Equipo Auditor no existe evidencia suficiente para determinar que la medida y procedimiento implementado sean efectivos. Sin embargo, para mayor claridad, se agrega al informe en versión final lo siguiente:

De acuerdo con el descargo POE-09-2023-0173 con fecha del 22 de mayo de 2023 y la nota de UNOPS 96800/230517/DF/030 del 17 de mayo de 2023, se indica que el gestor del proyecto extrajo 94 núcleos posterior a la campaña inicial de inyección de grietas, de los cuales 10,36% mostró fisuras parcialmente llenas con material epóxico. Sobre los resultados obtenidos por la supervisora y observaciones realizadas en el oficio de descargo POE-09-2023-0173 con fecha del 22 de mayo de 2023, se concuerda con el criterio emitido por UNOPS en que el tamaño de muestra es mayor, sin embargo, las muestras extraídas por el LanammeUCR dejan en evidencia que durante las diferentes etapas de la reparación tanto en el proceso de inyección inicial, como de reinyección realizada por diferentes subcontratistas, no se garantiza la efectividad de la inyección. Lo anterior, debido a que las muestras del LanammeUCR no arrojan evidencia para afirmar que las reparaciones fueron efectivas en todas las intervenciones realizadas, ya que, tanto en la primera campaña de inyección como en la de reinyección, se extrajeron núcleos cuyas grietas no estaban rellenas integralmente.

Al respecto, la Unidad Ejecutora "solicitó a UNOPS que se informara de las acciones a seguir, así como el procedimiento de reparación" y planteó "su inquietud al gestor y solicitó aclaración" en los oficios POE-09-2022-0073 del 8 de febrero de 2022 y POE-09-2022-0146 del 15 de marzo de 2022. Lo anterior fue reiterado por la Unidad Ejecutora en el descargo: oficio POE-09-2023-0173 del 22 de mayo de 2023.

El Hallazgo 1 se mantiene y se realiza la adición de los párrafos mencionados.

Observación 2: Se evidenció que el criterio de ancho de reparación de grieta indicado en los procedimientos es mayor al que recomienda la normativa internacional.

La Unidad Ejecutora no presentó comentario adicional a lo expresado en la nota 96800/230517/DF/030.

En cuanto a la nota 96800/230517/DF/030 y su referencia al método por gravedad para grietas de espesor mayor a 2 mm, es conocido por el Equipo Auditor que se aprobaron dos procedimientos, los cuales se refieren en el informe en versión preliminar EIC-Lanamme-INF-0449-2023:



| | | | |
|--|---|----------------------|---------------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | | Versión: 1 |
| | Consecutivo: | Página: 11/16 | |

En el Anexo 3 del POE-09-2022-0092 del 18 de febrero 2022 y como parte de la atención de las grietas, se enviaron los procedimientos de reparación con referencias PYC-307-2022-UN-LB del 1º de febrero 2022 y PYC-319-2022-UN-LB del 14 de febrero 2022. En el PYC-307-2022-UN-LB se indica que se tratarían las fisuras de forma diferente, aquellas mayores a 2 mm de ancho y las de igual o menor a 2 mm. En el PYC-319-2022-UN-LB se indica cual es el procedimiento de reparación de fisuras mayores a 0,5 mm de ancho.

En el primer procedimiento presentado por la Contratista el 1º de febrero del 2022 con referencia PYC-307-2022-UN-LB se indica claramente en la sección "Procedimiento para la reparación de fisuras mayores a 2 mm de ancho" que la distancia entre inyectores será cada 15 cm máximo.

Luego, en el segundo procedimiento de la Contratista con fecha 14 de febrero de 2022 y referencia PYC-319-2022-UN-LB en la sección "Procedimiento de reparación de fisuras mayores a 0,5 mm de ancho" se indica lo mismo, tal que "la distancia entre inyectores será cada 15 cm máximo."

Por tal razón, en el informe EIC-Lanamme-INF-0449-2023 en versión preliminar, se hace referencia a ambos procedimientos, en el entendido de que el tratamiento por gravedad, no garantizó la penetración del sello en las grietas de las losas, por lo que también se utilizó el método de inyección de grietas a presión.

Tal como refiere la nota 96800/230517/DF/030, si bien es cierto que una empresa esté "calificada en la ejecución de este tipo de tratamientos" no exime que ésta deba aplicar la normativa y aunque el procedimiento esté en apego con el ACI como refiere dicha nota, sin embargo, el método por gravedad no garantizó la inyección completa de las grietas que se presentaron, como se evidenció con la extracción de los núcleos por parte de la Supervisión y del LanammeUCR.

Así mismo, en el cuerpo de la Observación 2 se presenta la normativa internacional relacionada. Y la nota 96800/230517/DF/030 no adjunta ni especifica la normativa ACI que refiere en cuanto a que el "procedimiento está en cumplimiento con normativa de referencia", de forma que no se cuenta con evidencia técnica sustantiva que valide el criterio de ancho de reparación de grieta.

Se difiere de que el procedimiento esté en cumplimiento con la normativa de referencia y que sea adecuado, ya que como se desarrolló en el informe, el ACI 224R-01 y el Boletín 1 de RAP del ACI, Guía Práctica de Procedimientos de Aplicación para Reparaciones de Concreto, Reparación de Grietas Estructurales por Inyección de Resinas Epóxicas, por Brian F. Keane, sugieren que el ancho a partir del cual se deben tratar las grietas es de 0,30 mm.

La Observación 2 se mantiene sin modificaciones.



| | | |
|--|--|---------------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | Versión: 1 |
| Consecutivo: | | Página: 12/16 |

Observación 3: Se evidenciaron oportunidades de mejora en las prácticas constructivas y de control para evitar el agrietamiento en las losas del tablero de la rotonda de La Bandera

La Unidad Ejecutora coincide en su descargo POE-09-2023-0173 que “se debían aplicar las oportunidades de mejora y lecciones aprendidas producto de los problemas presentados en la colada de la losa del tablero del puente de la rotonda; es por esto que se tomaron una gran cantidad de medidas de prevención”.

- A partir de lo anterior se agrega al informe en versión final:

La Unidad Ejecutora refuerza el criterio del equipo auditor al coincidir en el descargo POE-09-2023-0173 al informe preliminar que “se debían aplicar las oportunidades de mejora y lecciones aprendidas producto de los problemas presentados en la colada de la losa del tablero del puente de la rotonda; es por esto que se tomaron medidas de prevención durante la construcción de la losa del viaducto sobre el acceso a la UCR específicamente en lo que se refiere al control de la temperatura y el viento para evitar el agrietamiento prematuro, lo cual produjo resultados positivos en este elemento”.

La Observación 3 se mantiene y se realiza la adición del párrafo mencionado.

Observación 4: Se evidenció que la Administración no implementó el método de ensayo de la actualización del Decreto Ejecutivo No. 40333-MOPT publicado en La Gaceta, alcance no. 99 del 9 de mayo de 2017, de la Sección 302.03 Diseño de Mezcla (equivalente a BE-25) CR-2010, para la realización del moldeo de especímenes de base estabilizada con cemento, lo cual incidió en el análisis comparativo de resistencias para la evaluación estadística del material.

La Unidad Ejecutora no presentó comentario adicional a lo expresado en la nota 96800/230517/DF/030.

La nota 96800/230517/DF/030 refiere que:

El proyecto tomó la decisión de aplicar la metodología recomendada por el LanammeUCR en el oficio LM-PI-0125-2018, con la salvedad de que se densificaría en tres capas y no en cinco (como se establece en AASHTO T134 Apartado 304). Esto es así debido a que se determinó que la resistencia resultante es muy elevada debido al nivel de densificación que determinan las cinco capas, lo cual se asocia a una eventual fragilidad.

Aunado a lo anterior, se identificó al realizar el paño de prueba que para cumplir con la densidad de referencia obtenida con cinco capas era necesario utilizar un esfuerzo de densificación muy elevado, que implica in situ la aplicación de entre seis y siete pasadas de compactador vibratorio. Lo anterior lo cual no resulta práctico desde un punto de vista constructivo, ya que aumenta considerablemente el tiempo de compactación, y conlleva el

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| EIC-Lanamme-INF-0449-2023 | Setiembre, 2023 | Página 77 de 84 |
|---------------------------|-----------------|-----------------|





| | | | |
|--|---|----------------------|---------------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | | Versión: 1 |
| Consecutivo: | | Página: 13/16 | |

riesgo de que el agregado sea fracturado en el proceso y de generar micro-fisuras en la capa de base estabilizada. Al utilizar el mazo más pesado, como propone el Lanamme en su oficio, pero densificando a tres capas en lugar de cinco, se obtiene un nivel de densificación mayor en campo con respecto a la norma AASHTO T-134, pero sin la dificultad práctica que conlleva densificar a cinco capas.

Lo expresado anteriormente por el gestor del proyecto, no se encuentra respaldado por resultados, cálculos, investigaciones ni referencias que permitan conocer la magnitud de las resistencias y densificaciones elevadas que se obtuvieron, por lo que es criterio del Equipo Auditor que no se cuenta con la evidencia suficiente que justifique el cambio en la normativa.

Asimismo, se aclara que lo indicado en la nota 96800/230517/DF/030 es concordante con el documento Anexo "Propuesta de especificaciones de materiales y construcción de base estabilizada con cemento para el proyecto de intercambio La Bandera" del 9 de septiembre de 2021 y el mismo fue considerado en el informe en versión preliminar EIC-Lanamme-INF-0449-2023.

En el descargo POE-09-2023-0173 y la nota 96800/230517/DF/030 se indica que:

A la fecha del presente informe ha transcurrido el (sic) 100% del Plazo para la notificación de defectos de la obra (que comprende un año a partir de la recepción parcial de las obras) en donde se ha realizado un monitoreo constante de las obras. Durante este plazo no se han identificado problemas relacionados con el comportamiento de la base estabilizada y se ha mostrado un desempeño satisfactorio de la estructura de pavimento.

En cuanto a ello, si bien es cierto ha transcurrido un año desde la fecha de entrada en operación de las obras, el agrietamiento que podría presentar la base estabilizada con cemento por las altas resistencias y el agrietamiento por contracción térmica producto de estas, podría tardar años en reflejarse en la carpeta asfáltica en razón del espesor del pavimento. De ahí la importancia de controlar la calidad en la etapa constructiva, ya que este tipo de deterioros podrían no apreciarse en el período de corrección de defectos. Además, la estructura de pavimentos del proyecto se consideró para 20 años, de forma que la cantidad de ejes equivalentes a la que se ha visto sometida la estructura, no ha sido ni un 5 % del correspondiente a su vida útil. Razón por la cual, es claro que no habría de esperarse ningún problema en dicha estructura ni en el material.

- A partir de lo anterior se agrega al informe en versión final:

Agrega: En el descargo POE-09-2023-0173 de la Unidad Ejecutora y la nota 96800/230517/DF/030 del gestor del proyecto se indica que

A la fecha del presente informe ha transcurrido el (sic) 100% del Plazo para la notificación de defectos de la obra (que comprende un año a partir de la recepción parcial de las obras) en donde se ha realizado un monitoreo constante de las obras. Durante este plazo no se han identificado problemas relacionados con el





| | | |
|--|--|---------------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | Versión: 1 |
| Consecutivo: | | Página: 14/16 |

comportamiento de la base estabilizada y se ha mostrado un desempeño satisfactorio de la estructura de pavimento.

Si bien es cierto ha transcurrido un año desde la fecha de entrada en operación de las obras, el agrietamiento que podría presentar la base estabilizada con cemento por las altas resistencias y el agrietamiento por contracción térmica producto de estas, podría tardar años en reflejarse en la carpeta asfáltica en razón del espesor del pavimento. De ahí la importancia de controlar la calidad en la etapa constructiva, ya que este tipo de deterioros podrían no apreciarse en el período de corrección de defectos. Además, la estructura de pavimentos del proyecto se consideró para 20 años, de forma que la cantidad de ejes equivalentes a la que se ha visto sometida la estructura, no ha sido ni un 5 % del correspondiente a su vida útil. Razón por la cual, es claro que no habría de esperarse ningún problema en dicha estructura ni en el material, a tan solo un año de puesta en operación.

La Observación 4 se mantiene y se modifica de forma tal que se realiza la adición del párrafo mencionado.

Hallazgo 2: Se evidenció que se colocó mezcla asfáltica en caliente con los diseños de mezcla actualizados no aprobados a la fecha de colocación.

Se ha cambiado el nombre del hallazgo de: Se evidenció que se colocó mezcla asfáltica en caliente con diseños de mezcla no aprobados a la fecha de colocación.

a: Se evidenció que se colocó mezcla asfáltica en caliente con actualizaciones a los diseños de mezcla no aprobados a la fecha de colocación.

Como parte del descargo en los anexos del POE-09-2023-0173 y la nota 96800/230517/DF/030, se remitieron certificados de calidad RECOPE para el asfalto. Estos certificados del asfalto, fueron tabulados y revisados como parte del análisis del descargo. La información se presenta a continuación. Se muestra la Tabla siguiente con un resumen estadístico del valor mínimo, valor promedio, valor máximo y desviación estándar para cada una de las pruebas realizadas.



| | | | |
|--|---|---------------|--------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | | Versión: 1 |
| Consecutivo: | | Página: 15/16 | |

Tabla A.1. Resumen estadístico de los certificados de asfalto remitidos con el descargo en los anexos del POE-09-2023-0173 y la nota 96800/230517/DF/030.

| Descripción | Número de datos | Valor mínimo | Valor promedio | Valor máximo | Desviación estándar |
|---|-----------------|--------------|----------------|--------------|---------------------|
| Cambio fracción masa, efecto calor-aire, % en masa | 9 | -0.4 | -0.3 | -0.1 | 0.1 |
| Densidad a 15 °C, kg/m ³ | 9 | 1031.0 | 1032.8 | 1035.0 | 1.1 |
| Ductilidad post perdida a 25 °C, cm | 9 | 145.0 | 149.6 | 151.0 | 1.8 |
| Fracción masa de cenizas, % en masa | 9 | 0.0 | 0.1 | 0.15 | 0.1 |
| Fracción masa soluble en tricloroetileno, % en masa | 9 | 99.6 | 99.7 | 99.9 | 0.1 |
| Penetración (25 °C, 100 g, 5 s), 1/10mm | 9 | 52.0 | 59.7 | 66.0 | 5.1 |
| Relación de viscosidades absolutas | 9 | 2.0 | 2.6 | 3.0 | 0.5 |
| Susceptibilidad térmica (VTS) | 9 | 3.4 | 3.5 | 3.6 | 0.1 |
| Temperatura de inflamación corregida, °C | 9 | 323.0 | 344.3 | 364.0 | 12.2 |
| Temperatura máxima compactación, °C | 9 | 146.0 | 148.3 | 150.0 | 1.3 |
| Temperatura máxima mezcla, °C | 9 | 158.0 | 160.7 | 162.0 | 1.9 |
| Temperatura mínima compactación, °C | 9 | 141.0 | 143.2 | 145.0 | 1.3 |
| Temperatura mínima mezcla, °C | 9 | 153.0 | 154.8 | 156.0 | 1.3 |
| Viscosidad a 60 °C y 40,0 kPa, Pa-s | 9 | 269.0 | 285.7 | 315.0 | 12.9 |
| Viscosidad cinemática a 135 °C, mm ² /s | 9 | 415.0 | 446.8 | 486.0 | 23.7 |
| Viscosidad cinemática a 165 °C, mPa-s | 9 | 115.0 | 126.7 | 135.0 | 8.3 |
| Viscosidad post-pérdida 60 °C y 40,0 kPa, Pa-s | 9 | 457.0 | 692.7 | 785.0 | 90.4 |

Además, el descargo POE-09-2023-0173 indica que:

los diseños se vieron sometidos a un proceso de ajuste, producto de un control oportuno de los cambios en los lotes de asfalto suministrados por RECOPE que no podían ser previstos con anterioridad, por lo que debieron ser revisados y ajustados. Lo anterior dada la alta variabilidad y en periodos cortos de tiempo, de las características del asfalto suministrado, lo que requirió de constante revisión en el proyecto e implicó cambios en los diseños de mezcla generados en meses anteriores.





| | | |
|--|---|---------------------------------------|
|  LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES | Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales | Referencia: ANEXO 21 |
| | Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo | Versión: 1 |
| Consecutivo: | | Página: 16/16 |

Es de recibo que los diseños de mezcla habían sido aprobados con anterioridad y se ajusta el Hallazgo 2, ya que corresponde a modificaciones de los diseños de mezcla asfáltica. Además, a partir de las revisiones realizadas con los certificados del asfalto del RECOPE y lo mostrado en la Tabla previa, se entiende que hay un cambio de características del asfalto en el tiempo y que dicho material por su naturaleza, presenta variabilidad, sin embargo, el diseño de mezcla y sus modificaciones siempre deben ser aprobados previo a la colocación del material. Por lo tanto, no se considera pertinente la colocación del material en fechas como 23 y 24 de febrero 2022 y 18 y 19 de marzo 2022, sin la aprobación del diseño de mezcla, que se hizo efectiva hasta el 25 de marzo, tal como se demostró en este hallazgo, por lo que, a criterio de esta Auditoría, se debió valorar el ajuste de dar continuidad al proceso constructivo de acuerdo con la solicitud de las especificaciones.

- A partir de lo anterior se elimina del informe en versión final:

b) Presentación del Informe de Diseño de mezcla. La fórmula de trabajo deberá ser presentada para su aprobación al menos 28 días antes del inicio del proceso de producción. Dicho informe debe indicar la ubicación de cada una de las plantas asfálticas que serán usadas y una fórmula de trabajo específica para cada planta. Para certificar la fórmula de trabajo se debe incluir un formulario firmado por el laboratorio de ensayo correspondiente que indique que se está cumpliendo con todos los requerimientos del contrato y que la mezcla puede ser compactada en campo durante la construcción de modo que se cumplan los requisitos del contrato. (Subrayado no es parte del original)

- Y se sustituye en el informe en versión final por el siguiente párrafo:

d) Cambios y reenvío del Informe de Diseño de Mezcla. Si el informe de diseño de mezcla es rechazado, o una fuente de material o el material reciclado es cambiado, se debe suministrar una nueva fórmula de trabajo para su aceptación. Para la aceptación del cambio a la fórmula de trabajo, pueden ser necesarios hasta 21 días. Los cambios aprobados en la fórmula de trabajo no son retroactivos para el pago.

EL Hallazgo 2 se mantiene y se modifica de forma tal que se realiza la adición del párrafo mencionado.

| | Nombre y Puesto | Firma | Fecha |
|----------|---------------------|--|-------------------------------|
| Preparó: | Fiorella Murillo C | Digitally signed by FIORELLA MURILLO CONTRERAS (FIRMA) Date: 2023.06.07 12:51:31 -06'00' | 31 mayo 2023 14 junio 2023 |
| Revisó: | Sergio Guerrero A | Firmado digitalmente por SERGIO ANDRES GUERRERO AGUILERA (FIRMA) Fecha: 2023.09.12 16:28:06 -06'00' | 5/07/2023 |
| Revisó: | Francisco Fonseca C | Firmado digitalmente por FRANCISCO FONSECA CHAVES (FIRMA) Fecha: 2023.09.12 16:39:47 -06'00' | 4/07/2023 |
| Aprobó: | Wendy Sequeira R | Firmado digitalmente por WENDY SEQUEIRA RIOS (FIRMA) Fecha: 2023.06.07 14:06:13 -06'00' | 03/07/2023 |



Anexo B. Proceso de valoración de los resultados de la auditoría realizada.

El Equipo Auditor considera todos los resultados de la auditoría incluidos en este informe como relevantes y considera que existe el riesgo potencial de que se materialice lo alertado en cada uno de ellos. No obstante, con el objetivo de brindar una herramienta para que las instituciones a las cuales el LanammeUCR debe informar sus resultados, según lo establecido en el artículo 6 de la Ley 8114, puedan priorizar la atención de las recomendaciones que surgen de los análisis desarrollados en el presente informe, se presenta la siguiente valoración de los resultados de la auditoría según su impacto, urgencia y carácter contractual.

El Equipo Auditor categorizó el impacto, la urgencia de atención de las recomendaciones y el carácter contractual según lo establecido en la Tabla B.1 para cada resultado de la auditoría de forma independiente.

El impacto corresponde a la afectación, según el criterio del Equipo Auditor, que el resultado de la auditoría encontrado generó en la calidad de la obra. La urgencia corresponde al tiempo de atención sugerido de las recomendaciones emitidas por el LanammeUCR. El carácter contractual denota si el resultado de la auditoría se basa en una cláusula de carácter contractual o si su respaldo técnico no necesariamente tiene un carácter contractual para el proyecto. También valora si su incumplimiento es parcial o total.

Tabla B.1. Valoración de los resultados de la auditoría según su impacto, urgencia y cumplimiento contractual

| Categoría | | Valoración |
|-----------------------|------------------------------------|------------|
| Impacto | Bajo | 1 |
| | Medio | 3 |
| | Alto | 5 |
| Urgencia ¹ | Largo plazo | 1 |
| | Mediano plazo | 3 |
| | Corto plazo | 5 |
| Carácter contractual | No contractual | 1 |
| | Incumplimiento contractual parcial | 3 |
| | Incumplimiento contractual total | 5 |

¹El corto plazo se considera un plazo menor a un año desde la emisión del informe. El mediano plazo se entiende por un plazo comprendido entre 1 y 5 años. El largo plazo se entiende por un plazo mayor a 5 años.

Posteriormente, se obtuvo el promedio de las valorizaciones obtenidas según cada categoría y se determinó la prioridad de atención sugerida para las partes interesadas según lo establecido en la Tabla B.2.



Tabla B.2. Prioridad de atención sugerida según la valoración de los resultados de la auditoría realizada por el Equipo Auditor

| Prioridad de atención sugerida | Rango de valoración |
|--------------------------------|---------------------|
| Baja | 1 – 2 |
| Media | 2 – 3 |
| Alta | 3 - 4 |
| Muy alta | 4 - 5 |

Los resultados de la auditoría positivos no se incluyen en esta valoración ya que no requieren atención inmediata por parte de la Administración ni de las instituciones establecidas en el Artículo 6 de la Ley 8114 y sus reformas.

En la Tabla B.3, se muestra la valoración de los resultados de la auditoría de este informe. También se muestra la prioridad de atención sugerida, según la escala de colores mostrada en la Tabla B.2.

Tabla B.3. Valoración de los resultados de la auditoría y priorización de atención sugerida

| Hallazgo / Observación | Cumplimiento Contractual | Impacto | Urgencia | Promedio |
|---|--------------------------|---------|----------|----------|
| Observación 1: Se identifican oportunidades de mejora en cuanto al contenido de los estudios preliminares del proyecto. | 2 | 2 | 1 | 1,7 |
| Hallazgo 1: El procedimiento utilizado para la inyección de las grietas en las losas del tablero de concreto reforzado de la rotonda de La Bandera, no garantiza la penetración total de la inyección en las grietas y por lo tanto, no se garantiza la integridad y durabilidad del tablero. | 5 | 5 | 4,5 | 4,8 |
| Observación 2: Se evidenció que el criterio de ancho de reparación de grieta indicado en los procedimientos es mayor al que recomienda la normativa internacional. | 2,25 | 2,75 | 1,5 | 2,2 |
| Observación 3: Se evidenciaron oportunidades de mejora en las prácticas constructivas y de control para evitar el agrietamiento en las losas del tablero de la rotonda de La Bandera. | 1,75 | 2,75 | 1,75 | 2,1 |



| | | | | |
|---|------|------|------|-----|
| <p>Observación 4: Se evidenció que la Administración no implementó el método de ensayo de la actualización del Decreto Ejecutivo No. 40333-MOPT publicado en la Gaceta, alcance No. 99 del 9 de mayo de 2017, de la sección 302.03 Diseño de Mezcla (equivalente a BE-25) CR-2010, para la realización del moldeo de especímenes de base estabilizada con cemento, lo cual incidió en el análisis comparativo de resistencias para la evaluación estadística del material</p> | 2,75 | 3,75 | 2,25 | 2,9 |
| <p>Hallazgo 2: Se evidenció que se colocó mezcla asfáltica en caliente con diseños de mezcla actualizados no aprobados a la fecha de colocación</p> | 4,5 | 3,5 | 2 | 3,3 |