



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR)

Informe Final: LM-INF-IC-D-0014-20

Análisis de los estudios previos y la calidad de los materiales del Proyecto Ampliación de la Ruta 32, sección: Intersección Ruta Nacional N°4 (Cruce de Sarapiquí)- Limón



Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica

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

San José, Costa Rica

Febrero, 2021



1. Informe final: LM-INF-IC-D-0014-20		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Análisis de los estudios previos y la calidad de los materiales del Proyecto Ampliación de la Ruta 32, sección: Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce de Sarapiquí) - Limón		4. Fecha del Informe Febrero 2021
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 <u>Sobre los estudios preliminares:</u> Se determinó que los resultados de los estudios hidrológicos e hidráulicos realizados para el proyecto pueden no ser representativos para el proyecto debido a la información base utilizada y el alcance de las metodologías empleadas. También se evidenció deficiencias en el diseño del pavimento que podrían generar variaciones en los espesores de las capas del paquete estructural propuesto. Finalmente, al revisar las memorias de cálculo de los puentes que se utilizaron para definir el tipo de estrategia de intervención se encontraron deficiencias como uso de normativa de diseño desactualizada, dificultad para dar un seguimiento a lo que el diseñador realiza en la memoria y ausencia de revisión de estados límites en algunos componentes de la estructura. En cuanto al diseño geométrico, se observaron oportunidades de mejora en temas como la velocidad de operación y las dimensiones de algunos elementos de la carretera como los espaldones o alturas libres propuestos. <u>Sobre el diseño de los materiales del proyecto:</u> Se evidenció que el diseño del concreto autocompactable propuesto para los pilotes no siguió las recomendaciones del manual ACI 237R "Self Consolidating Concrete". <u>Sobre la calidad de los materiales utilizados en el proyecto:</u> Se evidenciaron incumplimientos en el asentamiento del concreto tanto para los datos del LanammeUCR, así como para el laboratorio de verificación de calidad. También se identificaron algunos incumplimientos puntuales en la elongación de varillas de refuerzo.		
8. Palabras clave Estudios preliminares, Control de Calidad, Auditoría , Ruta 32	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 140



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Análisis de los estudios previos, de las y la calidad de los materiales del Proyecto
Ampliación de la Ruta 32, sección: Intersección Ruta Nacional N°4 (Cruce de
Sarapiquí)- Limón

Departamento encargado del proyecto Unidad Ejecutora Ruta 32, CONAVI

Supervisora del proyecto: CACISA

Laboratorio de verificación de calidad: CACISA

Empresa contratista: CHEC China Harbour Engineering Company

Laboratorio de control de calidad: OJM Ingenieros Consultores

Monto original del contrato: US \$ 465.593.387,06

Plazo original de ejecución: 42 meses

Proyecto: Ampliación de la Ruta 32, sección: Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce de Sarapiquí)- Limón

Director General LanammeUCR: Ing. Alejandro Navas Carro, MSc.

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

Audidores:

Ing. Francisco Fonseca Chaves, MBA, Auditor Técnico Líder

Ing. Mauricio Picado Muñoz, Auditor Técnico Adjunto

Ing. Sergio Guerrero Aguilera, Auditor Técnico Adjunto

Ing. Luis Carlos Alfaro Monge, MSc, Auditor Técnico Adjunto

Expertos técnicos:

Ing. Rafael Oreamuno Vega, MSc.

Ing. Ana Monge Sandí, MSc.

Ing. Luis Guillermo Vargas Alas

Ing, Esteban Villalobos Vega

Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD.

Ing. Javier Zamora, MScE.

Asesor Legal: Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

El alcance del estudio consistió en la evaluación de los estudios preliminares y el análisis de la calidad de los materiales empleados en la construcción del proyecto



TABLA DE CONTENIDOS

1. FUNDAMENTACIÓN	11
2. OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	11
3. OBJETIVOS DEL INFORME.....	11
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4. ALCANCE DEL INFORME.....	12
5. METODOLOGÍA	12
6. ANTECEDENTES	13
7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	15
8. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-INF-IC-D-0009B-2020.....	16
9. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	17
<i>SOBRE LOS ESTUDIOS PRELIMINARES DEL PROYECTO</i>	<i>18</i>
<i>OBSERVACIÓN No. 1. LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS REALIZADOS PUEDEN NO SER REPRESENTATIVOS DEL PROYECTO DEBIDO A LA INFORMACIÓN BASE UTILIZADA Y EL ALCANCE DE LAS METODOLOGÍAS EMPLEADAS.....</i>	<i>18</i>
<i>OBSERVACIÓN No. 2. LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DISEÑADA PUEDE SER INSUFICIENTE PARA SOPORTAR LAS CARGAS DE TRÁNSITO QUE CIRCULARÁN SOBRE ELLA DEBIDO A QUE NO SE CONSIDERÓ EL CAMBIO EN LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA VÍA POR EL IMPACTO QUE GENERAN OTROS PROYECTOS VIALES SOBRE ÉSTA.</i>	<i>25</i>
<i>OBSERVACIÓN No. 3. NO SE EVIDENCIÓ UN ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA SELECCIONAR LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO A REHABILITAR Y EN EL ENSANCHE DE LA VÍA.</i>	<i>27</i>
<i>HALLAZGO 1. NO SE PRESENTA EVIDENCIA DE QUE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA VÍA HAYAN SIDO CARACTERIZADOS SEGÚN LO INDICADO EN EL “ANEXO 5 ESPECIFICACIONES ESPECIALES DISEÑO DEL PAVIMENTO DEL DOCUMENTO ALCANCE DEL PROYECTO” SE EVIDENCIARON DEBILIDADES EN LOS DISEÑOS DE PAVIMENTOS QUE PODRÍAN GENERAR RESULTADOS ALEJADOS A LAS CONDICIONES REALES DE OPERACIÓN DEL PROYECTO. .</i>	<i>28</i>
<i>OBSERVACIÓN 4. SE EVIDENCIARON DEBILIDADES EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE LAS REHABILITACIONES QUE PODRÍAN GENERAR RESULTADOS ALEJADOS A LAS CONDICIONES REALES DE OPERACIÓN DEL PROYECTO.....</i>	<i>29</i>
<i>OBSERVACIÓN No. 5. LAS SOLUCIONES GEOTÉCNICAS PROPUESTAS Y LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS DESARROLLADOS PARA EL PROYECTO SE CONSIDERAN ADECUADOS SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS EVALUADAS Y EL ALCANCE DEL PROYECTO.....</i>	<i>46</i>
<i>OBSERVACIÓN No.6. EXISTEN DEBILIDADES EN LAS MEMORIAS DE CÁLCULO REALIZADAS PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES EXISTENTES DE LA RUTA NACIONAL 32.</i>	<i>48</i>
<i>OBSERVACIÓN No. 7. SE EVIDENCIARON OPORTUNIDADES DE MEJORA EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL PROYECTO.</i>	<i>56</i>
<i>SOBRE EL DISEÑOS DE LOS MATERIALES</i>	<i>57</i>



OBSERVACIÓN No. 8. EL DISEÑO DEL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE DE PILOTES NO SE AJUSTÓ A LOS PARÁMETROS Y ENSAYOS MÍNIMOS QUE DEBEN REALIZARSE PARA ESTE TIPO DE CONCRETOS SEGÚN EL MANUAL ACI 237R. 57

SOBRE LOS MUESTREOS Y ENSAYOS DE LOS MATERIALES 62

HALLAZGO No. 2. SE EVIDENCIARON PRÁCTICAS Y PROCEDIMIENTOS QUE SE ALEJAN DE LO ESTABLECIDO EN LA NORMATIVA PARA EL CORRECTO MUESTREO DE CONCRETO FRESCO Y MEDICIÓN DE SUS PROPIEDADES. 62

SOBRE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN EL PROYECTO.. 68

HALLAZGO No. 3. LOS PARÁMETROS DE TEMPERATURA DE COLOCACIÓN Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS LÍMITES ESPECIFICADOS SALVO CASOS MUY PUNTUALES EN LAS DISTINTAS CATEGORÍAS DE CONCRETO UTILIZADOS EN EL PROYECTO. EN EL CASO DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO SE OBSERVA EN GENERAL UNA GRAN DISPERSIÓN. 68

HALLAZGO 4. LOS PARÁMETROS DEL ACERO DE REFUERZO EVALUADO POR EL LANAMMEUCR SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS LÍMITES ESTABLECIDOS EN LA NORMA ASTM A 706, A EXCEPCIÓN DE LA ELONGACIÓN DE LAS VARILLAS EN DONDE SE EVIDENCIARON UNOS INCUMPLIMIENTOS PUNTUALES EN VARILLAS 114

10. CONCLUSIONES.....120

11. RECOMENDACIONES122

12. REFERENCIAS123

13. ANEXOS125

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESUMEN DE LOS OFICIOS ENVIADOS A LA ADMINISTRACIÓN DURANTE EL PROCESO DE AUDITORÍA..... 13

TABLA 2. INCONSISTENCIAS ENCONTRADAS EN LOS NIVELES DE INUNDACIÓN Y CAUDALES REPORTADOS 21

TABLA 3. INCONSISTENCIAS EN LA ELEVACIÓN DE LA PARTE INFERIOR DE LA VIGA REPORTADA 21

TABLA 4. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE UTILIZADOS 30

TABLA 5. UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DONDE EL LANAMMEUCR EVALUÓ LAS DEFLEXIONES EN EL PROYECTO 31

TABLA 6. CLASIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL SEGÚN LOS INDICADORES DE CONDICIÓN ESTRUCTURAL..... 34

TABLA 7. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DEFLEXIONES 35

TABLA 8. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE SOBREDISEÑO ESTRUCTURAS PROPUESTAS EN TRAMOS DEL PROYECTO 41



TABLA 9. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE SOBREDISEÑO ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO CONSIDERANDO CONSTRUCCIÓN DE BASE ESTABILIZADA 21 CM Y CARPETA ASFÁLTICA DE 10 CM.....	43
TABLA 10. SECCIONES DE CONTROL Y ESTACIONAMIENTO CON INCUMPLIMIENTO DE ESPESOR DE SUBBASE CONSIDERADO EN EL DISEÑO.....	45
TABLA 11. CRITERIOS DEFINIDOS POR LA UNIDAD DE PUENTES DEL PIE-LANAMMEUCR PARA LA VERIFICACIÓN DE LAS MEMORIAS DE CÁLCULO DE LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES EXISTENTES DE LA RUTA NACIONAL No. 32 EN EL TRAMO CRUCE DE RÍO FRÍO-LIMÓN.	48
TABLA 12. AGRUPAMIENTO DE LOS CRITERIOS DE LA UP CON BASE EN LAS PREGUNTAS EN QUE KEITH (2008) RESUME LOS CRITERIOS DE VERIFICACIÓN DE CÁLCULOS INGENIERILES.....	50
TABLA 13. TIPOS DE MEMORIA DE CÁLCULO INCLUIDAS EN LAS EVALUACIONES ESTRUCTURALES DE LOS PUENTES DE LA RUTA No. 32 (TRAMO CRUCE DE RÍO FRÍO-LIMÓN)	50
TABLA 14. PUENTES ELEGIDOS PARA VERIFICACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO	52
TABLA 15. PORCENTAJES DE CUMPLIMIENTO CON LOS CRITERIOS DE VERIFICACIÓN DE LA UP DEL PIE-LANAMMEUCR DE CADA MEMORIA DE CÁLCULO	53
TABLA 16. RAZÓN DE PROPORCIONES TÍPICAS DE MATERIALES DEL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE	59
TABLA 17. RESUMEN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE 175 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	71
TABLA 18. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 245 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	73
TABLA 19. DATOS DEL LANAMMEUCR PARA EL CONCRETO DE 245 KG/CM ² DE RAMA 1	74
TABLA 20. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 245 KG/CM ² DE LOSAS DE RAMA 1.....	76
TABLA 21. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	79
TABLA 22. RESUMEN MUESTRAS ANALIZADAS DEL CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 1 PARA PILOTES SEGÚN LOS DATOS DEL LANAMMEUCR.	80
TABLA 23. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE LANAMMEUCR.....	82
TABLA 24. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 280 KG/CM ² PARA PILOTES DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.	85
TABLA 25. RESUMEN MUESTRAS ANALIZADAS DEL CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 1 PARA PILOTES SEGÚN LOS DATOS DEL LANAMMEUCR.	85
TABLA 26. . RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 400 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.	88
TABLA 27. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 400 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	91
TABLA 28. RESUMEN MUESTRAS ANALIZADAS DEL CONCRETO DE 400 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LANAMMEUCR.	92



TABLA 29. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 175 KG/CM ² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD	94
TABLA 30. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 245 KG/CM ² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD	96
TABLA 31. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 245 KG/CM ² DE RAMA 2 PARA LOSAS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD	99
TABLA 32. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD	102
TABLA 33. RESUMEN MUESTRAS ANALIZADAS DEL CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 2 SEGÚN LOS DATOS DEL LANAMMEUCR.	102
TABLA 34. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS DEL CONCRETO DE 280 KG/CM ² PARA PILOTES DE RAMA 2 SEGÚN EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD.	108
TABLA 35. RESUMEN MUESTRAS ANALIZADAS DEL CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 2 SEGÚN LOS DATOS DEL LANAMMEUCR.	108
TABLA 36. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 280 KG/CM ² PARA PILOTES DE RAMA 2 SEGÚN LANAMMEUCR	110
TABLA 37. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ANALIZADAS EN EL CONCRETO DE 400 KG/CM ² DE RAMA 2 SEGÚN EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD	113

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL PROYECTO	16
FIGURA 2. VISTA EN PLANTA DE LOS PUENTES SOBRE EL RÍO CORINTO	23
FIGURA 3. VISTA EN PLANTA DE LOS PUENTES SOBRE EL RÍO TORO AMARILLO	23
FIGURA 4. VISTA EN PLANTA DE LOS PUENTES SOBRE EL RÍO REVENTAZÓN	23
FIGURA 5. VISTA EN PLANTA DE LOS PUENTES SOBRE EL RÍO SIQUIRRES	24
FIGURA 6. VISTA EN PLANTA DE LOS PUENTES SOBRE EL RÍO PACUARITO	24
FIGURA 7. VISTA EN PLANTA DE LOS PUENTES SOBRE EL RÍO MADRE DE DIOS	24
FIGURA 8. VISTA EN PLANTA DE LOS PUENTES SOBRE EL RÍO CHIRRIPO.....	24
FIGURA 9. UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DONDE EL LANAMMEUCR EVALUÓ LAS DEFLEXIONES.....	32
FIGURA 10. INDICADOR MLI PARA LOS TRAMOS CON BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND.....	37
FIGURA 11. INDICADOR LLI PARA LOS TRAMOS CON BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND.....	38
FIGURA 12. TABLA 29-8 CÁLCULO NÚMERO ESTRUCTURAL SC 70471 119+640-135+225.....	42
FIGURA 13. CARTA DE PLASTICIDAD MODIFICADA DE IDRIS ET AL.	47
FIGURA 14. FRAGMENTO DE UN FORMULARIO PARA VERIFICACIÓN DE CALIDAD DE LAS MEMORIAS DE CÁLCULO	52



FIGURA 15. ESPECÍMENES DE CONCRETO SIN PROTECCIÓN EN EL PUENTE SOBRE EL RÍO CHIRRIPO, SE EVIDENCIÓ SEGREGACIÓN EN LOS ESPECÍMENES, KM 125+309. FECHA DE LA FOTOGRAFÍA 24-01-2019.	63
FIGURA 16. MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO EN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE, PUENTE RÍO CORINTO, KM 50+975. FECHA DE LA FOTOGRAFÍA 24-01-2019.	64
FIGURA 17. MEDICIÓN DEL FLUJO DE ASENTAMIENTO EN EL PUENTE RÍO TORO AMARILLO, KM 50+975.....	65
FIGURA 18. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO EN EL RÍO TORO, KM 59+124.....	66
FIGURA 19. FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES DE MUESTREO DE CONCRETO, PUENTE RÍO CORINTO, KM 50+975.FECHA DE LA FOTOGRAFÍA 21-01-2018.	67
FIGURA 20. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 175 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	69
FIGURA 21. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 175 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	69
FIGURA 22. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 175 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	70
FIGURA 23. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 245 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	71
FIGURA 24. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 245 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	72
FIGURA 25. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 245 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	73
FIGURA 26. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 245 KG/CM ² DE LOSAS DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD	75
FIGURA 27. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 245 KG/CM ² DE LOSAS DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD	75
FIGURA 28. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 245 KG/CM ² DE LOSAS DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD	76
FIGURA 29. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	77
FIGURA 30. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	78
FIGURA 31. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD.....	79
FIGURA 32. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LANAMMEUCR	80
FIGURA 33. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LANAMMEUCR	81
FIGURA 34. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 280 KG/CM ² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LANAMMEUCR	82
FIGURA 35. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 280 KG/CM ² PARA PILOTES DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD	83
FIGURA 36. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 280 KG/CM ² PARA PILOTES DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD	84



FIGURA 37. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 280 KG/CM² PARA PILOTES DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 84

FIGURA 38. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 280 KG/CM² PARA PILOTES DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LANAMMEUCR 87

FIGURA 39. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 280 KG/CM² PARA PILOTES DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LANAMMEUCR 88

FIGURA 40. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO DE 280 KG/CM² PARA PILOTES DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LANAMMEUCR 88

FIGURA 41. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 400 KG/CM² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD..... 89

FIGURA 42. TEMPERATURA DE COLOCACIÓN DE CONCRETO DE 400 KG/CM² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 90

FIGURA 43. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 400 KG/CM² DE RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD..... 91

FIGURA 44. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 175 KG/CM² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 92

FIGURA 45. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 175 KG/CM² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 93

FIGURA 46. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 175 KG/CM² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 93

FIGURA 47. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 245 KG/CM² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 95

FIGURA 48. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 245 KG/CM² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 95

FIGURA 49. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 245 KG/CM² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 96

FIGURA 50. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 245 KG/CM² DE RAMA 2 PARA LOSAS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 97

FIGURA 51. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 245 KG/CM² DE RAMA 2 PARA LOSAS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 98

FIGURA 52. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 245 KG/CM² DE RAMA 2 PARA LOSAS DEL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD..... 99

FIGURA 53. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 280 KG/CM² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 100

FIGURA 54. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 280 KG/CM² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 101

FIGURA 55. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 280 KG/CM² DE RAMA 2 PARA EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 101

FIGURA 56. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 280 KG/CM² DE RAMA 2 SEGÚN LANAMMEUCR..... 103

FIGURA 57. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 280 KG/CM² DE RAMA 2 SEGÚN LANAMMEUCR..... 104

FIGURA 58. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 280 KG/CM² DE RAMA 2 SEGÚN LANAMMEUCR 105



FIGURA 59. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 280 KG/CM² PARA PILOTES DE RAMA 2 SEGÚN EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD..... 106

FIGURA 60. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 280 KG/CM² PARA PILOTES DE RAMA 2 SEGÚN EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD..... 107

FIGURA 61. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 280 KG/CM² PARA PILOTES DE RAMA 2 SEGÚN EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD. 107

FIGURA 62. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 280 KG/CM² PARA PILOTES DE RAMA 2 SEGÚN EL LANAMMEUCR 109

FIGURA 63. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 280 KG/CM² PARA PILOTES DE RAMA 2 SEGÚN EL LANAMMEUCR 110

FIGURA 64. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 280 KG/CM² PARA PILOTES DE RAMA 2 SEGÚN EL LANAMMEUCR 110

FIGURA 65. ASENTAMIENTO DE CONCRETO DE 400 KG/CM² DE RAMA 2 SEGÚN EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 111

FIGURA 66. TEMPERATURA DE CONCRETO DE 400 KG/CM² DE RAMA 2 SEGÚN EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD 112

FIGURA 67. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE CONCRETO DE 400 KG/CM² DE RAMA 2 SEGÚN EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD..... 113

FIGURA 68. ESFUERZO DE FLUENCIA DE ACERO DE REFUERZO DE RAMA 1 SEGÚN EL LANAMMEUCR..... 115

FIGURA 69. ESFUERZO MÁXIMO DE ACERO DE REFUERZO DE RAMA 1 SEGÚN EL LANAMMEUCR..... 116

FIGURA 70. ELONGACIÓN DE VARILLAS #3 A #6 DE ACERO DE REFUERZO DE RAMA 1 SEGÚN EL LANAMMEUCR 116

FIGURA 71. ELONGACIÓN DE VARILLAS #7 A #10 DE ACERO DE REFUERZO DE RAMA 1 SEGÚN EL LANAMMEUCR 117

FIGURA 72. ESFUERZO FLUENCIA DE ACERO DE REFUERZO DE RAMA 2 SEGÚN EL LANAMMEUCR..... 117

FIGURA 73. ESFUERZO MÁXIMO DE ACERO DE REFUERZO DE RAMA 2 SEGÚN EL LANAMMEUCR..... 118

FIGURA 74. ELONGACIÓN DE VARILLAS #3 A #6 DE ACERO DE REFUERZO DE RAMA 2 SEGÚN EL LANAMMEUCR 119

FIGURA 75. ELONGACIÓN DE VARILLAS #7 A #10 DE ACERO DE REFUERZO DE RAMA 2 SEGÚN EL LANAMMEUCR 119



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS PREVIOS Y LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DEL PROYECTO AMPLIACIÓN DE LA RUTA 32, SECCIÓN: INTERSECCIÓN RUTA NACIONAL N°4 (CRUCE DE SARAPIQUÍ)- LIMÓN

1. FUNDAMENTACIÓN

La Auditoría Técnica externa a proyectos en ejecución para el sector vial se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley N°8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N°8603, dentro del plan anual de la Unidad de Auditoría Técnica 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.” (Lo subrayado no es del texto original)

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 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.

3. OBJETIVOS DEL INFORME

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad de los estudios preliminares y de los materiales empleados hasta el momento en el proyecto: Ampliación de la Ruta 32, sección: Intersección Ruta Nacional N° 4 (Cruce de Sarapiquí) - Limón, con el fin de fiscalizar la eficiencia en la ejecución del proyecto y controlar los riesgos potenciales.



3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la calidad y pertinencia de los estudios hidrológicos, los estudios geotécnicos, los diseños geométricos y las memorias de cálculo estructurales que fueron desarrollados como parte de los estudios preliminares del proyecto.
- Evaluar el cumplimiento de las especificaciones de los materiales empleados hasta el momento en el proyecto de conformidad con la normativa vigente en el Cartel de Licitación del proyecto, en específico el concreto.

4. ALCANCE DEL INFORME

Este informe compila las evidencias que el Equipo Auditor ha recopilado a lo largo de la ejecución de la auditoría que realiza al proyecto “Ampliación de la Ruta 32, sección: Intersección Ruta Nacional N°4 (Cruce de Sarapiquí)- Limón”. El periodo abarcado en este informe es el comprendido entre el mes de junio de 2018 y el mes de setiembre de 2020. No obstante, a lo largo de la ejecución de la auditoría, el Equipo Auditor ha emitido notas informes en aras de comunicar oportunamente estas evidencias.

Es importante mencionar que el periodo de ejecución del proyecto no ha concluido al momento de emitir este informe, por lo que esta Unidad de Auditoría Técnica puede emitir informes posteriores con las evidencias recopiladas en el periodo de ejecución restante.

El alcance del estudio consistió en la evaluación de los estudios preliminares, el análisis de la calidad de los materiales empleados en la construcción del proyecto y la evaluación de los procesos de ensayo.

Para la evaluación de los estudios preliminares del proyecto, se analizaron los estudios hidrológicos, los estudios geotécnicos, los diseños geométricos y las memorias de cálculo estructurales de los puentes. Por su parte, en la evaluación de la calidad de los materiales empleados hasta el momento en el proyecto, se analizaron los resultados obtenidos por el laboratorio de verificación y por el LanammeUCR para el concreto y el acero de refuerzo.

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. METODOLOGÍA

La labor que se efectúa en un proceso de auditoría 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.



Las actividades que fueron desarrolladas por el Equipo Auditor consistieron en visitar los diversos frentes de trabajo, hacer una revisión de los documentos del proyecto, programar muestreos a los materiales y analizar los resultados de los ensayos desarrollados a lo largo de la ejecución del proyecto para la verificación de la calidad de los materiales.

6. ANTECEDENTES

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 Tabla 1, se muestran los oficios y las notas informe que han sido enviados durante la ejecución de la auditoría.

Tabla 1. Resumen de los oficios enviados a la Administración durante el proceso de auditoría

Oficio / Nota informe	Fecha de emisión	Asunto	Oficio de respuesta de la administración
LM-AT-71-17	08/10/2017	Oficio de inicio de auditoría y solicitud de información	UE-DRA-RN32-002-2017-371
LM-AT-137-17	08/11/2017	Solicitud de información	UE-DRA-RN32-002-2018-779
LM-AT-12-18	22/01/2018	Revisión de estudios hidrológicos	UE-DRA-RN32-03-2018-056 (2199)
LM-AT-44-18	19/03/2018	Solicitud de información	UE-DRA-RN32-002-2018-304
LM-AT-84-18	05/06/2018	Solicitud de información	UE-DRA-RN32-03-2018-433
LM-AT-94-18	06/07/2018	Solicitud de información	UE-DRA-RN32-01-2019-564 (855)
LM-AT-97-18	17/07/2018	Solicitud de información	UE-DRA-RN32-03-2018-562
LM-PI-061-18	06/08/2018	Observaciones sobre muestreos de concreto	UE-DRA-RN32-013-2018-0764
LM-AT-139-18	24/10/2018	Revisión de diseño de pavimento	UE-DRA-RN32-009-2019-836 (692)
LM-AT-144-18	06/11/2018	Remisión de informes del LM-PIE-UP-PF06-2018_R02, LM-PIE-UP-PF06-2018 R03 y LM-IG-04-18	UE-DRA-RN32-009-2019-277 (692)
LM-AT-155-18	14/12/2018	Solicitud de información	UE-DRA-RN32-009-2019-836 (692)
LM-AT-008-19	18/01/2019	Solicitud de información	UE-DRA-RN32-004-2019-0131 (692)
LM-PI-013-2019	22/02/2019	Observaciones sobre diseños de concreto	UE-DRA-RN32-009-2019-276 (692)
LM-AT-048-19	18/03/2019	Solicitud de información	UE-DRA-RN32-009-2019-352 (692)
LM-PI-028-2019	08/04/2019	Análisis de deflectometría	UE-DRA-RN32-009-2019-507 (692)



Oficio / Nota informe	Fecha de emisión	Asunto	Oficio de respuesta de la administración
LM-PI-029-2019	08/04/2019	Observaciones de gira y solicitud de información	UE-DRA-RN32-009-2019-507 (692)
LM-IC-D-0348-19	16/05/2019	Observaciones de gira y solicitud de información	DM-2020-1505 UE-DRA-RN32-009-2019-836 (692)
LM-IC-D-0459-19	24/06/2019	Criterio sobre bases estabilizadas	UE-DRA-RN32-009-2019-969 (692)
LM-IC-D-0563-19	22/07/2019	Remisión de informe de la Unidad de Puentes	No requiere respuesta
LM-IC-D-0576-19	29/07/2019	Solicitud de información sobre materiales de base estabilizada y mezcla asfáltica	Correo electrónico
LM-IC-D-0693-19	28/08/2019	Remisión de memorando LM-PIE-UP-31-2019	No requiere respuesta
LM-IC-D-0774-19	18/09/2019	Solicitud de información	UE-DRA-RN32-009-2019-1368 (692)
LM-IC-D-0926-19	04/11/2019	Solicitud de información	UE-DRA-RN32-009-2019-1446 (692)
LM-IC-D-1029-19	28/11/2019	Observaciones de gira y solicitud de información	UE-DRA-RN32-009-2020-0546 (179)
LM-IC-D-1085-19	12/12/2019	Respuesta al oficio DMAT 404-2019 y observaciones de gira	No requiere respuesta
LM-IC-D-0310-20	02/04/2020	Estudios hidrológicos	UE-DRA-RN32-003-2020-1200 (179)
LM-IC-D-0477-20	19/06/2020	Solicitud de información	UE-DRA-RN32-009-2020-1053 (179)
LM-IC-D-0495-20	22/06/2020	Resultados de ensayos a la base estabilizada RN32	UE-DRA-RN32-009-2020-1179 (179)
LM-IC-D-0541-20	30/06/2020	Solicitud de planos constructivos aprobados de alcantarillas de la Rehabilitación y Ampliación RN32	UE-DRA-RN32-009-2020-1180 (179)
LM-IC-D-0591-20	20/07/2020	Solicitud de aclaración sobre estado constructivo de alcantarilla Rehabilitación y Ampliación RN32	UE-DRA-RN32-009-2020-1454 (179)
LM-IC-D-0768-20	07/09/2020	Observaciones sobre el estado y proceso constructivo de alcantarillas de Ruta 32	UE-DRA-RN32-009-2020-1941 (179)
LM-IC-D-0794-20	10/09/2020	Diseño de Mezcla Asfáltica Ruta 32	UE-DRA-RN32-009-2020-1940 (179)
LM-IC-D-0818-20	17/09/2020	Solicitud de actualización de información de la Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional 32	UE-DRA-RN32-009-2020-1939 (179)



7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El objeto del contrato es realizar la ampliación de la calzada existente y la rehabilitación del pavimento existente en la Ruta Nacional N°32, en la sección comprendida sección: Intersección Ruta Nacional N°4 (Cruce de Sarapiquí) - Limón (ver Figura 1). El proyecto tiene una longitud de 107,24 km e incluye las siguientes actividades:

- 107,24 kilómetros de ampliación a cuatro carriles sobre la base de siete secciones transversales típicas, incluyendo ciclovías y aceras
- 5 intersecciones de dos niveles
- Al menos 36 puentes nuevos y los existentes a ser rehabilitados
- 23 puentes peatonales
- 176 bahías para autobuses
- 18 accesos a calles existentes
- 26 kilómetros de marginales de 4 metros de ancho

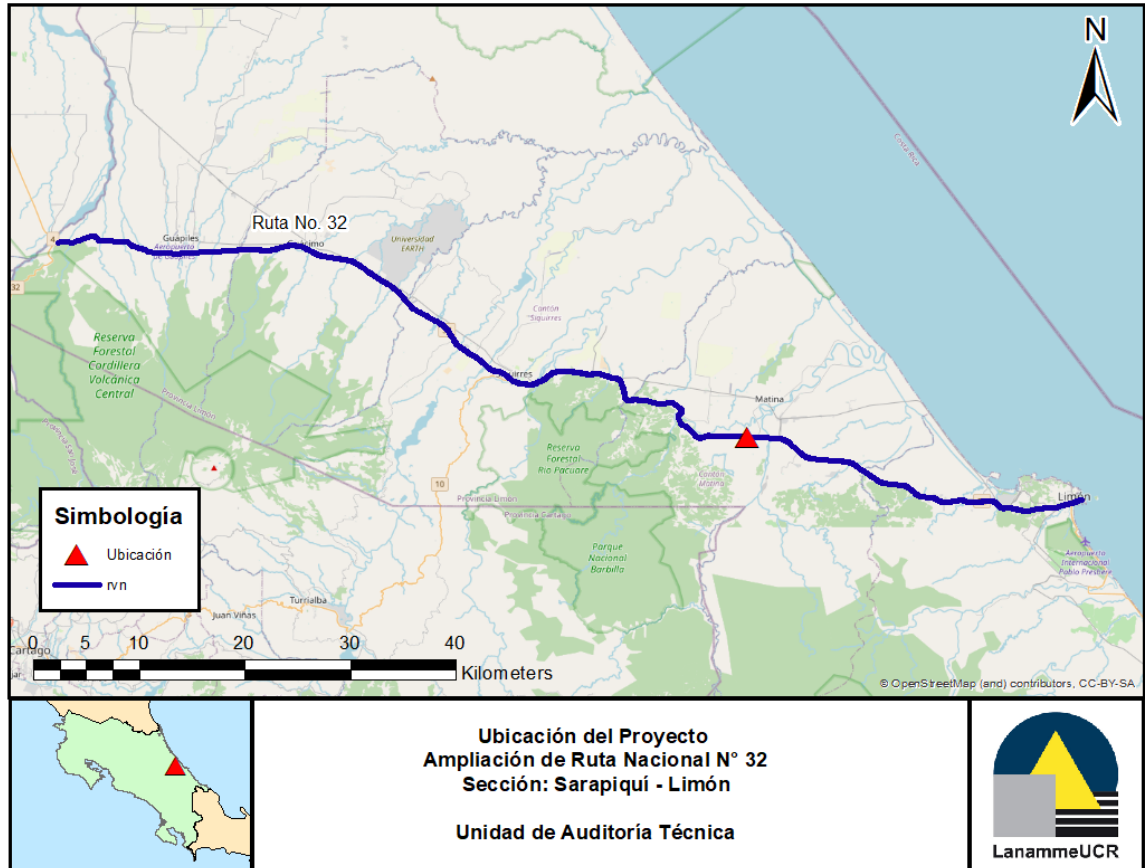


Figura 1. Ubicación del proyecto

8. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-INF-IC-D-0014B-2020

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante el oficio LM-IC-D-1077-2020 del 4 de diciembre de 2020, se envió el presente informe en versión preliminar (identificado como LM-INF-IC-D-0014B-2020) 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, dicho plazo finalizó el 8 de enero de 2021. La Unidad Ejecutora solicitó mediante oficio UE-DRA-RN32-009-2020-2395 del 23 de diciembre una prórroga para enviar el descargo hasta el 11 de enero de 2021. Este plazo fue concedido.



Adicionalmente, el día lunes 21 de diciembre de 2020, 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:

Kenneth Solano Carmona	Gerente General UE Ruta Nacional 32
Ronny Sanchez Chaves	Director de Carreteras UE Ruta Nacional 32
Juan Diego Salas	Director de Estructuras Viales UE Ruta Nacional 32
Valeria Bonilla Ramírez	Secretaria Viales UE Ruta Nacional 32
Angel Melendez Villalta	Gerente General Consorcio Supervisor RN32
Salvador Velázquez	Gerente Calidad Consorcio Supervisor RN32
Carlos Ferrei	Ingeniero Consorcio Supervisor RN32
Carlos Solís	Ingeniero Consorcio Supervisor RN32
Reynaldo Vargas Soto	Auditoría interna CONAVI
Wendy Sequeira Rojas	Coord. Unidad de Auditoría Técnica LanammeUCR
Mauricio Picado Muñoz	Auditor técnico LanammeUCR
Luis Carlos Alfaro Monge	Auditor técnico LanammeUCR
Francisco Fonseca Chaves	Auditor técnico LanammeUCR
Sergio Guerrero Aguilera	Auditor técnico LanammeUCR

El día lunes 11 de enero de 2021, se recibe vía correo electrónico el oficio UE-DRA-RN32-009-2021-028 (179), remitido por el Ing. Kenneth Solano Carmona como descargo al informe en versión preliminar LM-INF-IC-D-0014B-2020. Como parte del descargo, se adjunta el oficio CsRN32-0045-2020 (de fecha 8 de enero de 2021), donde la Unidad Ejecutora del programa brinda descargo al informe.

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 LM-INF-IC-D-0014-2020 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la Ley No. 8114 y sus reformas.

9. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

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

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

Por otra parte, una observación de auditoría técnica se fundamenta en normativas o especificaciones que no sean necesariamente de carácter contractual, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería, principios generales, medidas basadas en



experiencia internacional o nacional. Además, tienen la misma relevancia técnica que un hallazgo.

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

SOBRE LOS ESTUDIOS PRELIMINARES DEL PROYECTO

Observación No. 1. Los resultados de los estudios hidrológicos e hidráulicos realizados pueden no ser representativos del proyecto debido a la información base utilizada y el alcance de las metodologías empleadas.

Sobre la caracterización climática de las cuencas en estudio

Para la caracterización climática de las cuencas en estudio (a excepción de las cuencas de los ríos Aguas Claras y San Miguel) se utiliza un mapa elaborado por el *Resources Inventory Center, Corps of Engineers, US Army* en 1965, los mapas de zonas de vida elaborados por Holdridge para Costa Rica en 2005 y 17 estaciones meteorológicas. De las 17 estaciones utilizadas, 2 se localizan por encima de los 3000 m.s.n.m., 2 entre 1000 y 1350 m.s.n.m, 3 entre 500 y 1000 m.s.n.m. y 10 por debajo de los 500 m.s.n.m. Sin embargo, las estaciones seleccionadas no cubren todas las áreas de drenaje de las cuencas evaluadas.

Según CIEDES (2018), Costa Rica cuenta con descripciones climáticas muy completas y detalladas, elaboradas por el Instituto Meteorológico Nacional, que superan las referencias utilizadas. Establecer la caracterización climática de las cuencas evaluadas con base en las dos referencias mencionadas y en la información de estaciones meteorológicas que no cubren todas las áreas de drenaje de las cuencas es una simplificación de las condiciones del clima que define el patrón de escurrimiento de las cuencas evaluadas para el proyecto. Como resultado, la caracterización climática de las cuencas evaluadas se considera pobre.

Sobre el procedimiento seguido para determinar el caudal de diseño para las obras de drenaje transversal

Para determinar el caudal de diseño de las obras de drenaje transversal (a excepción de los puentes sobre los ríos Aguas Claras y San Miguel), el diseñador utilizó el método racional para las cuencas con áreas de drenaje menores a 100 km² y el método de la Curva Envolvente de Creager para las cuencas con áreas de drenaje mayores.

Para la aplicación del método racional es necesario que la precipitación sobre la cuenca en estudio sea uniforme en tiempo y espacio, al menos durante el tiempo de concentración. El principio anterior es difícil de satisfacer en cuencas con áreas de drenaje muy grandes, pues difícilmente la tormenta de diseño abarcará toda el área de drenaje de la cuenca ni la intensidad de precipitación se mantendrá uniforme durante todo el tiempo de concentración, ya que este suele incrementarse conforme aumenta el área de drenaje de la cuenca. Dado lo anterior, el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica (SIECA 2016) recomienda limitar el uso del método



racional a cuencas con áreas de drenaje menores a 20 km². En 39% de las cuencas analizadas con el método racional, el área de drenaje de la cuenca superaba los 20 km² recomendados por SIECA, lo que pudo haber generado que el caudal de diseño obtenido mediante el método racional no sea representativo para la cuenca en estudio. Lo anterior aplica para las cuencas de los ríos Corinto (75 km²), Costa Rica (40 km²), Blanco Tramo I (45 km²), Guácimo (60,7 km²), Parismina (41 km²), Dos Novillos (39,2 km²), Destierro (49 km²), Siquirres (39,2 km²), Madre de Dios (24,4 km²), Toro (26,5 km²) y Blanco Tramo V (59,6 km²).

Para determinar el tiempo de concentración para la aplicación del método racional, se utiliza la fórmula empírica de Kirpich, la cual fue desarrollada para pequeñas parcelas agrícolas en los Estados Unidos. En el caso de los sitios de estudio, el uso del suelo no corresponde a pequeñas parcelas agrícolas, por lo que los resultados obtenidos mediante la fórmula empírica de Kirpich pueden no ser representativos para las zonas en estudio. Aunado a lo anterior, los tiempos de concentración obtenidos son altos, llegando incluso a 166 min en la cuenca del Río Blanco (Tramo V), lo que hace difícil satisfacer el principio de que la intensidad de precipitación es constante durante al menos el tiempo de concentración, pues este último es extenso.

Además, en las cuencas en estudio existen diferencias importantes de elevación que hacen dudar que se alcance una cobertura uniforme de la precipitación sobre toda el área de drenaje o que, además, se sostenga, de manera uniforme, durante el tiempo de concentración de la cuenca.

Por otro lado, para determinar la intensidad de precipitación para la aplicación del método racional, se utilizaron las relaciones I-D-F desarrolladas para las estaciones 71002 Río Tortuguero, 73049 Río Parismina y 81003 Limón. Estas estaciones se ubican en las partes bajas de las cuencas por lo que las condiciones de precipitación obtenidas no se consideran representativas para las cuencas que superan los 1000 m.s.n.m. Adicionalmente, al obtener las intensidades de precipitación mediante relaciones I-D-F y tener tiempos de concentración altos, las intensidades de precipitación se pueden considerar bajas.

Además, debería revisarse los coeficientes de escorrentía utilizados para la aplicación del método racional, pues se utiliza el mismo coeficiente de escorrentía para todas las cuencas de los cursos de agua mayores, a pesar de que el uso de la tierra y las pendientes de las cuencas varían de una a otra.

De acuerdo con todos los puntos anteriores, es criterio del Equipo Auditor que el método racional no es el método adecuado para analizar las cuencas del proyecto dadas las características físicas de las cuencas y las características de la precipitación.

Por su parte, el modelo de Creager es un método empírico que supone que los valores de caudal máximo instantáneo dependen únicamente del área de drenaje de la cuenca. No obstante, el patrón de escorrentía de una cuenca es función del volumen de precipitación, de la distribución espacial y temporal de la tormenta, del uso de la tierra, de la textura del suelo y de las características físicas y geológicas de la cuenca, por lo que suponer que el caudal máximo instantáneo se puede estimar únicamente con base en el área de drenaje



de la cuenca, ignorando los demás factores que condicionan el patrón de escorrentía superficial, es simplificar el cálculo de los caudales máximos instantáneos de una cuenca. En contraparte, se pudo haber realizado un análisis estadístico con el registro de caudales y estimar, con menor medida de incertidumbre, los caudales máximos esperados en los sitios de puente de las cuencas evaluadas por el modelo de Creager.

Según CIEDES (2018), dadas las inconsistencias antes mencionadas, los valores de caudal máximo instantáneo utilizados para el análisis hidráulico de los puentes sobre los cursos de agua mayores (a excepción de los puentes sobre los ríos Aguas Claras y San Miguel), sólo se pueden considerar aproximaciones con un alto nivel de incertidumbre, ya que se estimaron sin tener en consideración la distribución espacial y temporal de la precipitación sobre el área de drenaje, las condiciones de uso de la tierra ni la respuesta hidrológica de la cuenca.

Es criterio del Equipo Auditor que este método tampoco es adecuado para un proyecto de la envergadura de la Ampliación de la Ruta Nacional 32.

Sobre los análisis hidráulicos realizados para las obras de drenaje transversal

Los resultados de los análisis hidráulicos, a excepción de los análisis elaborados para los ríos Aguas Claras y San Miguel, son también limitados, no sólo por la información hidrológica utilizada, sino también por la información topográfica utilizada. La información topográfica cubre apenas el ancho de la estructura de puente. Según CIEDES (2018), esta información es insuficiente para generar un perfil de flujo y obtener niveles y velocidades de crecientes que sean representativas de las condiciones de flujo del cauce, especialmente para ríos de llanura.

En los informes no se detalla la metodología empleada para hacer las estimaciones de los niveles que alcanza el agua durante las crecientes ni se brinda información de la longitud de la información topográfica utilizada ni de la frecuencia con la que se determinaron las secciones transversales del cauce.

Sobre las inconsistencias encontradas en los documentos revisados

Durante la revisión de los documentos, se encontraron una serie de inconsistencias que merecen ser aclaradas para validar la representatividad de los estudios y análisis realizados:

- Para el puente Paso Superior Ferrocarril, se reporta un valor de caudal, sin embargo, no se brinda información sobre las características físicas de la cuenca ni de la metodología utilizada para la estimación del caudal de diseño reportado.
- No se reportan los valores del caudal de diseño producto de una tormenta con 500 años de periodo de retorno en los estudios hidrológicos; no obstante, se utiliza esta información en los análisis de socavación.
- Los resultados de las perforaciones que se muestran en la Figura 2.1 de los informes de análisis hidráulicos parecen ser los mismos para los 33 puentes del proyecto.

- Al comparar los resultados reportados en la Tabla 4.4 del estudio hidrológico con los resultados reportados en los análisis hidráulicos de cada puente, se encontraron inconsistencias en los niveles de inundación y caudales reportados en ambos informes (ver Tabla 2). También se encontraron inconsistencias en el valor de la elevación de la parte inferior de la viga reportada en la Tabla 2.4 *Características del puente actual* y la Tabla 3.3 *Estimación del borde libre para las crecientes* de los informes de análisis hidráulico de los puentes analizados (ver Tabla 3). Las inconsistencias encontradas se señalan en color rojo en el Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 2. Inconsistencias encontradas en los niveles de inundación y caudales reportados

Puente	Nivel de inundación puente existente (m)		Nivel de inundación puente nuevo (m)		Caudal (m ³ /s)	
	Estudio hidrológico	Análisis hidráulico	Estudio hidrológico	Análisis hidráulico	Estudio hidrológico	Análisis hidráulico
Río Corinto	218,77	218,41	218,97	218,55	875,66	875,66
Quebrada Calderón	19,35	15,89	19,46	16,00	87,136	70,64
Río Escondido	9,95	9,95	10,06	10,45	45,644	45,644
Río Blanco (Tramo I)	242,86	242,86	243,08	243,08	526,17	479,28
Río Reventazón	85,87	85,87	85,97	85,97	2434,33	2955,74
Río Cuba	11,66	11,66	11,71	11,71	184,08	191,58
Río Madre	16,35	16,35	16,45	16,45	23,8	23,1

Tabla 3. Inconsistencias en la elevación de la parte inferior de la viga reportada

Puente	Elevación de la parte inferior de la viga (m)	
	Tabla 2.4	Tabla 3.3
Río Corinto	220,33	220,88
Río Blanco (Tramo I)	243,62	244,76

Cabe mencionar que, para el caso del análisis realizado en el puente sobre el Río Blanco, si la elevación de 243,62 m es la correcta, el puente existente no satisface el criterio de borde libre. Esto aunado al hecho de que en el análisis hidráulico se utiliza un caudal de diseño inferior al reportado en el estudio hidrológico, por lo que, si el valor reportado en el estudio hidrológico es el correcto, el borde libre sería aún menor al obtenido.

- El nivel de socavación obtenido para la pila del puente existente sobre el Río Blanco (Tramo I) se encuentra por debajo del nivel de cimentación. El consultor indica que el cálculo de la socavación se realizó suponiendo un estrato infinito de arena, pero según la prueba de perforación realizada durante la construcción del puente existente, existe un estrato de conglomerado y la cimentación de la pila se encuentra por debajo de esta capa, por lo que es probable que la socavación no alcance el nivel indicado; sin embargo, no brinda un respaldo numérico a dicha suposición. Lo mismo ocurre para las pilas de los puentes existentes sobre los ríos Toro Amarillo,



Guácimo, Parismina, Dos Novillos, Siquirres, Pacuarito, Cimarrones y Madre de Dios. Por lo tanto, no queda claro si la recomendación (capa de cantos rodados) es suficiente para solventar este problema.

- Se propone sustituir el puente existente sobre el río Hondo pues no satisface el criterio de borde libre mínimo (1,5m) establecido por el MOPT para el caudal de diseño producto de una tormenta con periodo de retorno de 500 años, aún y cuando satisface el criterio para el caudal de diseño producto de una tormenta con periodo de retorno de 100 años. Lo mismo sucede para los puentes sobre la Quebrada Calderón, Río Toro y el Río Cuba (satisface el criterio de borde libre para un caudal producto de una tormenta con periodo de retorno de 100 años, a pesar de que se utilizó un caudal de diseño mayor al reportado en el estudio hidrológico). En el caso del puente nuevo sobre el Río Cuba, no se cumple el criterio de borde libre (1,45 m), pero se utilizó un caudal de diseño mayor al reportado en el estudio hidrológico. Cabe mencionar que, en la Tabla 3-3 *Las precipitaciones y la inundación del periodo de retorno en el proyecto (años)* del informe de estudio hidrológico, se establece que para el diseño de inundación se utiliza un periodo de retorno de 100 años y que el periodo de retorno de 500 años es sólo para la comprobación de la inundación, por lo cual, no se debe aumentar el borde libre si éste se satisface para un periodo de retorno de 100 años.
- El puente existente y el puente nuevo sobre el río Chirripó no satisfacen el criterio de borde libre, aun así, no se recomienda aumentar el borde libre.
- Los puentes sobre los ríos Escondido, Rojo y Blanco (Tramo V) no satisfacen el criterio de borde libre, por lo que se recomienda rehabilitar el puente existente e incrementar el borde libre; sin embargo, no se establece la cota mínima que debe tener la cota inferior de la viga.
- En la sección 20.2 *Riesgo de inundación a subrasante y pavimento de la carretera* del informe de estudios hidrológicos no se brinda justificación técnica para los niveles de inundación indicados en la Tabla 55 del informe.
- En el Capítulo 5 *Conclusiones y recomendaciones* de los informes de análisis hidráulicos realizados, se realiza la siguiente recomendación:

“[...]”

c. Se recomienda colocar el puente nuevo perpendicular a la dirección del flujo y construir bastiones en la llanura de inundación. Se recomienda además que el puente nuevo esté alineado lo máximo posible con el puente existente. (Lo subrayado no es del texto original)

“[...]”

No obstante, en los puentes sobre los ríos Corinto, Toro Amarillo, Reventazón, Siquirres, Pacuarito, Madre de Dios y Chirripó (ver Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8), las pilas del puente nuevo no están alineadas con las pilas del puente existente. Esto puede aumentar la socavación local en las pilas del puente existente (aguas abajo), pues no existe una distancia suficiente entre el puente nuevo y el puente existente para que el flujo de agua se contraiga producto de las pilas del puente nuevo (aguas

arriba) y se expanda completamente previo a contraerse nuevamente producto de las pilas del puente existente (aguas abajo). Lo anterior provoca que la turbulencia que se genera producto de la contracción del flujo por las pilas del puente nuevo erosione las pilas del puente existente, aunado a la erosión que ya de por sí se genera en éstas por la contracción del flujo que éstas producen.

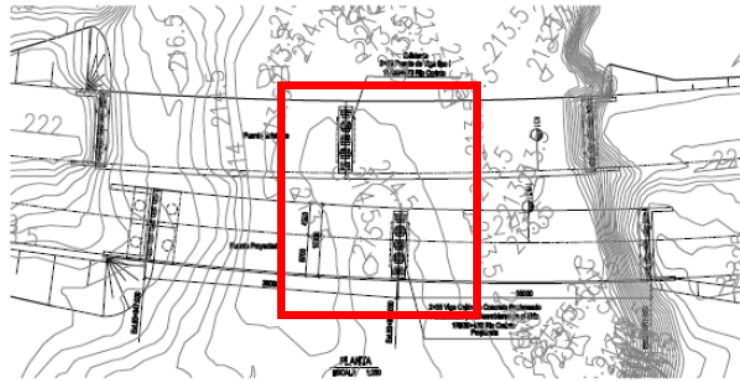


Figura 2. Vista en planta de los puentes sobre el Río Corinto
Fuente: CHEC, 2017

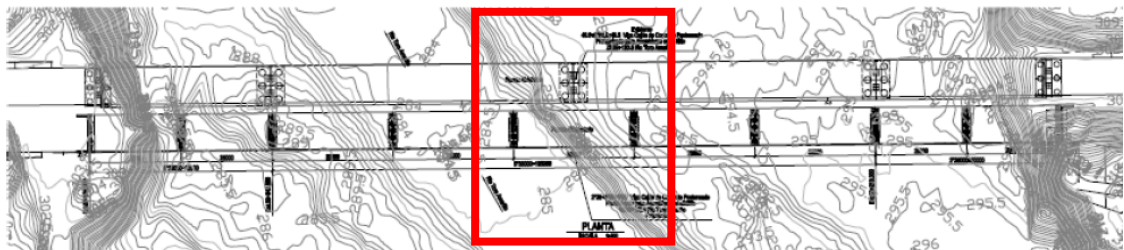


Figura 3. Vista en planta de los puentes sobre el Río Toro Amarillo
Fuente: CHEC, 2017



Figura 4. Vista en planta de los puentes sobre el Río Reventazón
Fuente: CHEC, 2017

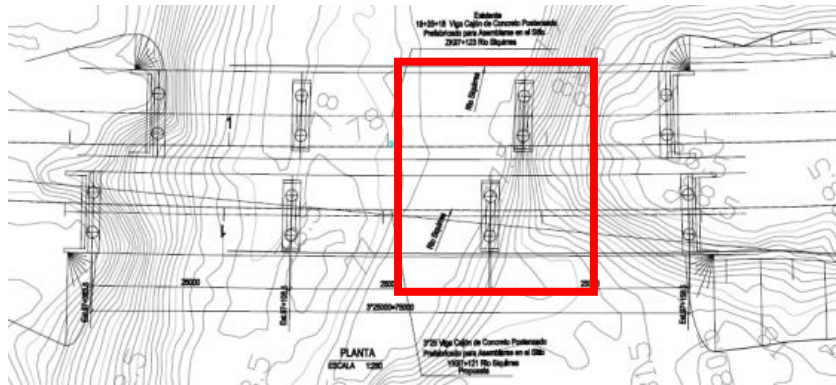


Figura 5. Vista en planta de los puentes sobre el Río Siquirres
Fuente: CHEC, 2017

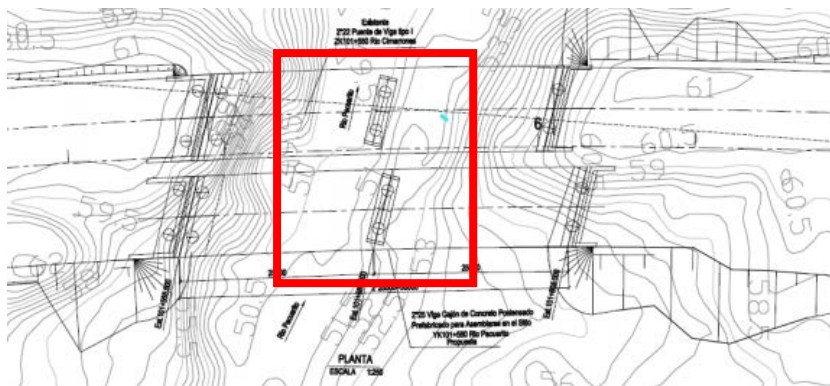


Figura 6. Vista en planta de los puentes sobre el Río Pacuarito
Fuente: CHEC, 2017

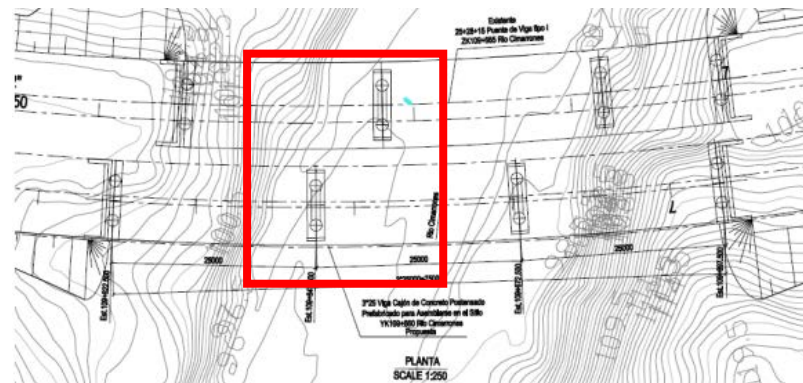


Figura 7. Vista en planta de los puentes sobre el Río Madre de Dios
Fuente: CHEC, 2017

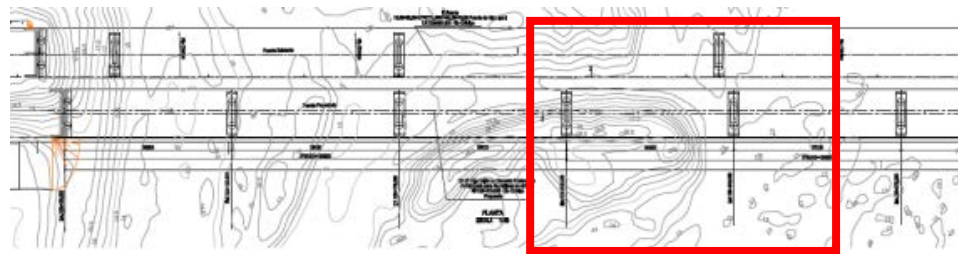


Figura 8. Vista en planta de los puentes sobre el Río Chirripó
Fuente: CHEC, 2017



Es criterio del Equipo Auditor que existen debilidades en los estudios hidrológicos que pueden generar incertidumbre sobre los valores obtenidos dado la información base utilizada y el alcance de los métodos empleados.

Es importante mencionar que los resultados de esta revisión se muestran en los informes CIEDES-010-2018, cuyas observaciones se comunicaron a la Unidad Ejecutora del proyecto en el oficio LM-AT-12-18 (recibido el 22/01/2018), y CIEDES-0168-2018, el cual fue remitido a la Administración vía correo electrónico el día 23 de octubre de 2018. Además, se presentaron los resultados de este informe en una reunión celebrada el día 27 de agosto de 2018 con personal de la Unidad Ejecutora y de la Supervisión del proyecto. Mediante oficio UE-DRA-RN32-009-2020-0546 (179) de julio de 2020 la Administración presenta análisis adicionales que se realizaron a los ríos Aguas Claras y San Miguel en los cuales las situaciones planteadas en esta observación son subsanadas; sin embargo, esto solo se dio para los dos ríos mencionados.

Observación No. 2. La estructura de pavimento diseñada puede ser insuficiente para soportar las cargas de tránsito que circularán sobre ella debido a que no se consideró el cambio en las condiciones de operación de la vía por el impacto que generan otros proyectos viales sobre ésta.

En los documentos analizados se evidencia el uso de datos de tránsito provenientes de conteos y proyecciones de tránsito de la Secretaría de Planificación Sectorial del MOPT. Dichos datos fueron obtenidos para las condiciones actuales de la vía por lo que pueden generar limitaciones pues no consideran el cambio en la capacidad de la vía ni el efecto de otros proyectos viales que impactan sus condiciones de operación y de crecimiento vehicular. El hecho de no considerar el cambio en la demanda de tránsito producto de proyectos tales como la nueva Terminal de Contenedores de Moín, puede llevar a una estimación inadecuada de la cantidad de ejes equivalentes de carga y al diseño de una estructura de pavimento insuficiente para las cargas de tránsito que realmente circularán sobre la vía.

Así las cosas, se recomendó mediante la nota informe LM-AT-139-18 enviada a la Administración el 24 de octubre del 2018:

- La ejecución de aforos o conteos vehiculares recientes del TPD y clasificación vehicular de cada sección de control de la ruta que permitan verificar las proyecciones de tránsito y el efecto del cambio en la capacidad de la vía.
- La ejecución de estudios de demanda y proyecciones de tránsito que consideren el impacto vial que genera la entrada en operación del proyecto Terminal de Contenedores de Moín y de la misma rehabilitación y ampliación de la Ruta Nacional N°32 y el efecto de la operación de otros proyectos viales como la carretera Vuelta de Kooper - Chilamate (Ruta Nacional No. 4) y el puesto fronterizo de Tablillas.

En el oficio DVP-23-18-0029 de la Dirección de Diseño de Vías y Puentes del CONAVI, se menciona que el dato del TPD debe de provenir de un estudio de tránsito.



En el oficio CSRN32-0460-2019 (adjunto del oficio UE-DRA-RN-32-009-2019-836), de la Supervisión del proyecto, se le indica al diseñador que se considera que lo más adecuado es realizar estudios de tránsito con el objetivo de tener datos actualizados y reales del tránsito del proyecto, considerando el posible incremento de vehículos pesados debido a la puesta en operación de la terminal de contenedores de Moín (TCM), el cual no está estimado en el TPD de diseño utilizado.

La Administración menciona en el oficio UE-DRA-RN32-002-2017-371 que la determinación de la demanda de tránsito estaba definida dentro de los alcances del proyecto, específicamente en el Anexo 2 del Memorando de acuerdo.

En cuanto a la determinación de la demanda de tránsito en las rehabilitaciones. La revisión de las proyecciones del tránsito en la actualización del documento “Diseño de Rehabilitación del Pavimento Existente (Rev.5)” realizado en octubre 2019 se basó nuevamente en el uso de datos de tránsito provenientes de conteos y proyecciones de tránsito de la Secretaría de Planificación Sectorial del MOPT del año 2012. A partir de estos datos se proyectó el tránsito promedio diario al año 2020 para estimar el tránsito al periodo de diseño de 10 años. Si bien el cálculo del tránsito promedio diario se realizó de forma correcta bajo los supuestos considerados, el Equipo Auditor considera importante señalar algunas implicaciones de los criterios asumidos por el diseñador.

El diseñador consideró dentro de su memoria de cálculo una tasa de crecimiento vehicular constante para cada sección a partir del año 2012 hasta el periodo final del diseño en el año 2030. Sobre este aspecto se debe indicar que la misma Secretaría de Planificación del MOPT había señalado en el informe LM-PI-AT-121-2017 que las tasas de crecimiento indicadas en los anuarios de tránsito del MOPT, tienen una caducidad aproximada de 10 años como máximo, debido a que las mismas son estimadas a partir de curvas logísticas para cada sección de control. Por lo que el uso de tasas de crecimiento vehicular constante en la estimación del tránsito de diseño del proyecto de rehabilitación del pavimento de la Ruta Nacional 32 podría no brindar un dato acertado de la proyección estimada.

Es criterio de esta auditoría que la estimación del TPD en proyectos de rehabilitación, debido a su importancia y costo, debe realizarse a partir de una proyección mediante la curva logística. Este tipo de proyección permite acotar el TPD final de la carretera a un valor máximo posible igual a su capacidad, permitiendo garantizar que la carretera no será diseñada para un flujo superior a su capacidad y evitando la probabilidad de sobrediseñar estructuras de pavimento.

Por otro lado, como se mencionó en el análisis previo, los datos del MOPT fueron obtenidos para las condiciones previas a la apertura de la nueva Terminal de Contenedores de Moín, carretera Vuelta de Kooper - Chilamate (Ruta Nacional No. 4) y el puesto fronterizo de Tablillas, lo cual podría generar limitaciones en la proyección del tránsito de diseño al no considerar el efecto de otros proyectos viales que impactan sus condiciones de operación y de crecimiento vehicular.

Por lo que es criterio del Equipo Auditor que para este proyecto se debió haber realizado estudios de demanda vehicular, aforos o conteos vehiculares, así como la clasificación



vehicular de cada sección de control de la ruta para verificar las condiciones reales de la ruta y considerar el efecto del cambio en la capacidad de la vía. Reiterando lo indicado en el análisis previo en el oficio DVP-23-18-0029 de la Dirección de Diseño de Vías y Puentes del CONAVI, que menciona que el dato del TPD debe provenir de un estudio de tránsito.

Observación No. 3. No se evidenció un análisis técnico económico para seleccionar la alternativa de solución para la estructura de pavimento a rehabilitar y en el ensanche de la vía.

En los documentos remitidos a esta auditoría no hay evidencia de que se haya llevado a cabo un análisis técnico y económico para seleccionar, entre las distintas alternativas para la estructura de pavimento (pavimento flexible, semirrígido y rígido), la solución óptima dadas las condiciones del proyecto.

Tampoco se encontró evidencia de que se haya llevado a cabo un análisis económico ni técnico para determinar la vida útil del proyecto que sopesa tanto la inversión inicial como los costos de mantenimiento, de manera que se seleccione la vida útil del proyecto que optimice la inversión en la que debe incurrir la Administración a lo largo del tiempo de operación del proyecto.

La selección de un periodo de diseño corto para un proyecto de obra nueva podría incrementar la frecuencia y el costo de las intervenciones de mantenimiento y rehabilitación que se llevan a cabo a lo largo del tiempo de operación del proyecto y esto puede llevar a un mayor costo total del proyecto (inversión inicial más costos de mantenimiento) que si se hubiera considerado una mayor vida útil.

En el oficio DVP-23-18-0029 (adjunto del oficio UE-DRA-RN32-002-2017-371) de la Dirección de Diseño de Vías y Puentes del CONAVI, se recomienda que el periodo de diseño debe ser de 15 años como mínimo.

Al respecto, la Administración menciona, en el oficio UE-DRA-RN32-002-2017-371, que este aspecto no es de su conocimiento, pues cuando iniciaron su participación en el proyecto, ya estaba definido dentro de los alcances del contrato el tipo de pavimento que se utilizaría y el periodo de diseño del pavimento a construir (10 años).

A pesar de que se entiende que la incorporación de la Unidad Ejecutora fue posterior a la negociación y definición de la estructura de pavimento por lo que sale del alcance de su injerencia, en aras de buscar la mejora continua de los proyectos viales se considera necesario realizar este tipo de análisis para poder definir la opción óptima para cada proyecto.



Hallazgo 1. No se presenta evidencia de que los materiales utilizados en la vía hayan sido caracterizados según lo indicado en el “Anexo 5 Especificaciones especiales diseño del pavimento del documento Alcance del Proyecto” Se evidenciaron debilidades en los diseños de pavimentos que podrían generar resultados alejados a las condiciones reales de operación del proyecto.

En el Anexo 5 Especificaciones especiales diseño del pavimento del documento Alcance del Proyecto, se establecen los siguientes requerimientos:

“Para el diseño estructural del pavimento, los materiales a utilizar se deben caracterizar como mínimo de la siguiente forma:

a) Los suelos y materiales granulares deberán ser caracterizados mediante el ensayo de Módulo Resiliente según la Norma AASHTO T 307-99, utilizando especímenes de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, compactados mediante el método apropiado para cada condición y material.

b) La mezcla asfáltica deberá ser caracterizada mediante Módulo Dinámico (E^*), según la norma AASHTO TP 62-07. Dicha normativa establece la determinación del E^* a 5 temperaturas (-10°C, 4,4°C, 21,1°C, 37,8°C y 54,4°C) y 6 frecuencias (0,1 Hz, 0,5 Hz, 1 Hz, 5 Hz, 10 Hz, y 25 Hz). Con base en las mediciones anteriores se debe determinar la curva maestra del material”.

Sin embargo, en los documentos Diseño de pavimento, Ampliaciones y Diseño de Rehabilitación del Pavimento Existente no se encontró evidencia de que se realizara una caracterización y definición previa de los materiales a utilizar en los diseños de cada una de las capas e intervenciones.

Cabe hacer mención especial sobre la escogencia del coeficiente estructural para la mezcla asfáltica empleado en el diseño de la rehabilitación del pavimento existente, en el cual se hace mención al oficio LM-PI-055-2017 del LanammeUCR, donde si bien es cierto se recomienda el uso de un coeficiente estructural de 0,54 para mezclas asfálticas modificadas con polímeros, surge la interrogante del por qué se utiliza un coeficiente estructural de 0,44 para la mezcla asfáltica empleada en el diseño de las ampliaciones y un coeficiente estructural de 0,54 para la mezcla asfáltica a emplear en la rehabilitación de la estructura de pavimento existente. Esta situación tiende a afectar los espesores a colocar en la vía.

En el oficio DVP-23-18-0029 (adjunto del oficio UE-DRA-RN-32-009-2019-836) de la Dirección de Diseño de Vías y Puentes del CONAVI, se menciona que se debe ser consistente con el valor del coeficiente estructural indicado para la carpeta asfáltica para la rehabilitación y para las ampliaciones.

De manera similar al revisar en la actualización del documento “Diseño de Rehabilitación del Pavimento Existente(Rev.5)” de octubre 2019 no se encontró evidencia de que se realizara una caracterización y definición previa de los materiales con los ensayos de Módulo Resiliente (Norma AASHTO T 307-99) para suelos y materiales granulares, así como el ensayo de módulo dinámico para la mezcla asfáltica (AASHTO TP 62-07) según lo



establecido en el Anexo 5 Especificaciones especiales diseño del pavimento del documento.

Se utiliza nuevamente el valor de 0,44 como coeficiente estructural de la capa asfáltica pese a que se considera la utilización de una capa de mezcla asfáltica modificada con polímeros.

Para los materiales existentes se utilizó la técnica del retrocálculo de módulo para estimar su módulo de rigidez.

Es criterio del Equipo Auditor que debido a la importancia de la Ruta Nacional 32 estas caracterizaciones se debieron llevar a cabo como estaba indicado en el Anexo 5.

Observación 4. Se evidenciaron debilidades en el diseño de pavimentos de las rehabilitaciones que podrían generar resultados alejados a las condiciones reales de operación del proyecto.

El Equipo Auditor procedió a revisar los diseños de estructura de pavimentos, tanto de las ampliaciones como de la rehabilitación del pavimento existente; en los que se pudo evidenciar las siguientes situaciones.

Factor de distribución direccional

En la sección 2.4.3 Factor de distribución vehicular (DS) y factor carril (LDF), del documento Diseño de Pavimento, Ampliaciones, se establece un factor de distribución direccional de 0,5, el cual se obtuvo, según lo mencionado en el documento, mediante un aforo realizado en la ruta. No obstante, en la sección 2.4.4 Cálculo de ejes equivalentes, del mismo documento, se utiliza un valor de 0,8 para el factor de distribución direccional.

Cabe destacar que ni el valor de 0,5 mencionado en la sección 2.4.3, ni el valor de 0,8 mostrado en la memoria de cálculo de la sección 2.4.4, coinciden con las recomendaciones de la Guía de diseño AASHTO 93.

Nivel de confianza

No se menciona el valor utilizado para esta variable.

Coeficientes de drenaje

No se justifica los valores utilizados para los coeficientes de drenaje de la subbase ni de material de préstamo.

Módulo resiliente de la subrasante

No hay claridad sobre el valor del módulo resiliente (MR) utilizado para caracterizar la subrasante de cada sección de control ni del origen de estos datos.

En el Capítulo IV. Diseño de pavimento semirrígido del documento Diseño de Pavimento, Ampliaciones, se detalla el valor de CBR de la subrasante de cada sección de control, lo que hace suponer que se utilizó una correlación entre el valor de CBR y el módulo resiliente. Al utilizar la correlación propuesta en la Guía de diseño AASHTO 93: $MR = 1500 \times CBR$ (Heukelom & Klomp, 1962), los valores obtenidos para el número estructural requerido de cada capa coinciden con los mostrados en la memoria de cálculo. Sin embargo, en el

Capítulo VI; Salida del programa PITRAPAVE del mismo documento, se muestran los valores del módulo resiliente de la subrasante utilizados para obtener las respuestas de la estructura de pavimento. Los valores del módulo resiliente mostrados en este capítulo no coinciden con los obtenidos anteriormente de la correlación propuesta por Heukelom & Klomp (ver Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de los valores de módulo resiliente de la subrasante utilizados

Sección de control	CBR _{Subrasante} (Capítulo IV)	MR = 1500 x CBR Heukelom & Klomp, 1962	MR _{Subrasante} (Capítulo VI)
70150	3,4	5100	4800
70490	3,2	4800	4650
70142	3,4	5100	5100
70141	3,6	5400	5100
70130	3,7	5550	5100
70090	4,0	6000	5250
70472	3,5	5250	5250
70471-1	3,5	5250	5250
70471-2	3,6	5400	5400
70080	3,4	5100	4950
70090	3,2	4800	4800

Por otro lado, si se utilizan los valores de módulo resiliente presentados en el Capítulo VI para determinar el espesor requerido de cada capa de la estructura de pavimento según la metodología AASHTO (1993), los valores obtenidos del número estructural requerido de cada capa no coinciden con los indicados en el Capítulo IV del documento.

Cabe recordar que la correlación propuesta por Heukelom & Klomp sólo es aplicable para suelos finos con un porcentaje de saturación menor al 10%, condición muy poco probable para la ruta debido a las condiciones climatológicas de la zona. Por ello, en el capítulo IV del documento el diseñador hace la siguiente mención:

“Se considera la variación del módulo resiliente de los suelos, su humedad y la variación de la densidad debido a la saturación del material, debido que se usó la correlación del CBR saturado”.

Sin embargo, no se menciona cuál fue la correlación utilizada ni los valores de módulo resiliente que se obtuvieron de dicha correlación. Además, en el Anexo 5 del documento Alcance del proyecto, se solicita, como mínimo, realizar el ensayo AASHTO T 307-99 para obtener el módulo resiliente característico de la subrasante de cada sección de control, por lo tanto, no es aceptable el uso de correlaciones entre el CBR y el módulo resiliente, como se indicó en la observación anterior.



Sobre el análisis de deflexiones

Con el fin de verificar la eficiencia de la intervención propuesta por el diseñador para la rehabilitación del pavimento existente en el proyecto, se realizó un análisis de las deflexiones medidas por el LanammeUCR, entre el 31 de mayo de 2017 y el 14 de junio de 2017, en 15 diferentes tramos de la Ruta Nacional N°32, comprendidos entre el cruce con la Ruta Nacional N°4 y la ciudad de Limón. Las mediciones de deflexiones se realizaron cada 25 m y a tres niveles de carga (30 kN, 40 kN y 50 kN) en tramos de un kilómetro de longitud. En el Tabla 5, se describe la ubicación de cada uno de los tramos evaluados. Por su parte, en la Figura 9, se muestra gráficamente la ubicación de los tramos evaluados a lo largo del proyecto.

Tabla 5. Ubicación de los tramos donde el LanammeUCR evaluó las deflexiones en el proyecto

Tramo	Sección de control	Ubicación
I	70150	Río Corinto – Flores, inicio a 100 m hacia Limón del puente
II	70150	Río Costa Rica – Río Blanco, a 250 m hacia Limón del puente
III	70150	Entre Río Guápiles y Maxi Palí
IV	70490	Inicio: del río El Molino a 300 m, hacia Limón
V	70142	Inicio: del río Jiménez a 700 m, hacia Limón
VI	70141	Inicia hacia Limón del puente sobre el Río Parismina
VII	70141	Pocora después del Río Dos Novillos
VIII	70130	Entre La Herediana y la planta Fruta Costa Rica
IX	70090	Entre Río Pacuare y Pacuarito
X	70090	Entre Río Hondo y Río Madre de Dios, a 250 m hacia Limón
XI	70472	A 500 m hacia Limón del Río Barbilla
XII	70471	Entre la entrada a Estrada (Ruta 803) y la entrada a Zent (Ruta
XIII	70080	Entre Abopac y Río Madre
XIV	70070	Entre Río Blanco y Tropigas, a 100 m hacia Limón
XV	70070	Entre el INA y el Liceo Nuevo de Limón

Fuente: Informe I-0575-17 LanammeUCR, 2017

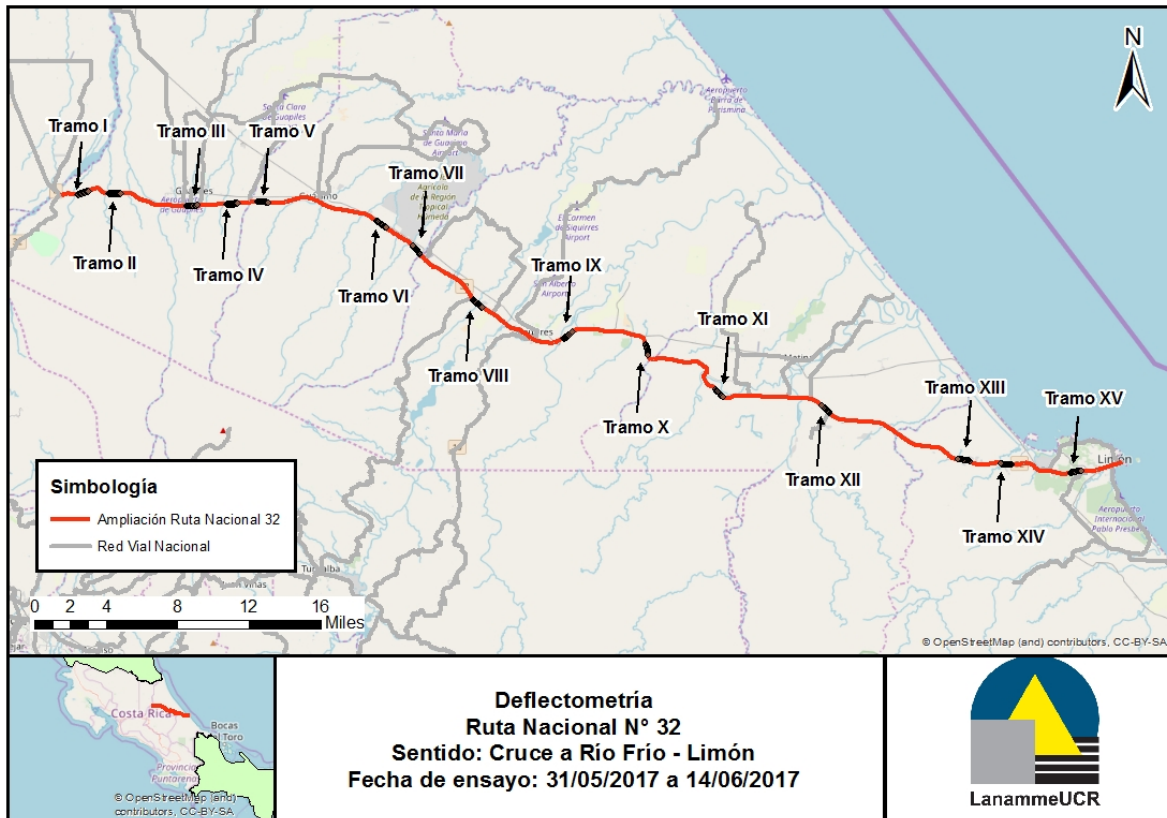


Figura 9. Ubicación de los tramos donde el LanammeUCR evaluó las deflexiones

Adicionalmente, se utilizaron los resultados obtenidos de los sondeos a cielo abierto realizados entre el 4 de julio de 2017 y el 1 de setiembre de 2017 por técnicos del LanammeUCR, donde se determinó el espesor y los componentes de cada capa de la estructura de pavimento de cada sección de control.

Finalmente, para confirmar los espesores determinados mediante los sondeos a cielo abierto y determinar la variación espacial de éstos, se realizó una medición de los espesores de las capas del pavimento mediante el Georadar de Penetración del LanammeUCR.

La metodología empleada para este análisis se basa en los indicadores de condición estructural de pavimentos propuestos por Horak en 1987 y que fueron verificados en la pista de ensayos acelerados del LanammeUCR (Camacho, 2018). Los indicadores utilizados son los siguientes:

Radio de curvatura (R_0C)

El radio de curvatura es un indicador que correlaciona la longitud del radio de la superficie deformada producto de la carga de las llantas con el aporte estructural de las capas superiores e intermedias de la estructura de pavimento; generalmente: carpeta asfáltica, base y subbase. La Ecuación 1 presenta la expresión para el cálculo del radio de curvatura:

$$R_0C = \frac{(L)^2}{2d_0 \left(1 - \frac{d_L}{d_0}\right)} \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde,

R_0C = radio de curvatura [m]

L = Distancia desde el centro de aplicación de la carga (200 mm para el FWD)

d_0 = Deflexión medida en el centro de aplicación de la carga [μm]

d_L = Deflexión medida a la distancia L desde el centro de aplicación de la carga [μm]

Indicador de capas superiores (BLI)

El indicador BLI caracteriza la capacidad estructural de la parte superior de la estructura de pavimento (Horak, 1987), contenida entre los 0 mm y 300 mm del cuenco de deflexiones, medidos desde el punto de aplicación de la carga. Es un buen indicador de la rigidez de los 300 mm superiores del pavimento, donde generalmente se ubican la carpeta asfáltica y la base (Horak, 2008). La Ecuación 2 describe el cálculo de este parámetro:

$$BLI = d_0 - d_1 \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde,

BLI = Indicador de capas superiores [μm]

d_0 = Deflexión medida en el centro de aplicación de la carga [μm]

d_1 = Deflexión medida a 300 mm desde el centro de aplicación de la carga [μm]

Indicador de capas intermedias (MLI)

El indicador MLI caracteriza la rigidez de la parte media o de inflexión de la estructura de pavimento (Horak, 2008), contenida entre los 300 mm y 600 mm del cuenco de deflexiones, medidos desde el punto de aplicación de la carga. Es un buen indicador de la rigidez de las capas comprendidas entre los 30 cm y 60 cm de profundidad de la estructura de pavimento, donde generalmente se ubican las capas de base y subbase (Horak, 2008). En la Ecuación 3, se presenta la expresión para el cálculo de este parámetro:

$$MLI = d_1 - d_2 \text{ (Ecuación 3)}$$

Donde,

MLI = Indicador de capas intermedias [μm]

d_1 = Deflexión medida a 300 mm desde el centro de aplicación de la carga [μm]

d_2 = Deflexión medida a 600 mm desde el centro de aplicación de la carga [μm]

Indicador de capas inferiores (LLI)

El indicador LLI caracteriza la capacidad estructural de la parte inferior de la estructura de pavimento (Horak, 1987), contenida entre los 600 mm y 900 mm del cuenco de deflexiones, medidos desde el punto de aplicación de la carga. Es un buen indicador de la capacidad estructural de las capas ubicadas desde los 60 cm hasta los 2 m de profundidad, donde usualmente se encuentra la subrasante (Horak, 2008). La Ecuación 4 describe el cálculo de este indicador:

$$LLI = d_2 - d_3 \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde,

LLI = Indicador de capas inferiores [μm]

d_2 = Deflexión medida a la distancia 600 mm desde el centro de aplicación de la carga [μm]

d_3 = Deflexión medida a la distancia 900 mm desde el centro de aplicación de la carga [μm]

Máxima deflexión (d_0)

La deflexión máxima corresponde a la deflexión medida debajo del centro de aplicación de la carga. Tradicionalmente, este indicador se ha utilizado para el análisis de la totalidad de la estructura de pavimento, debido a que refleja el aporte estructural de todas las capas de la estructura de pavimento; sin embargo, entre el 60% y el 80% de la deflexión máxima medida es producto de la deflexión de la subrasante (Ullidtz, 1987); por lo tanto, una deflexión máxima alta suele estar asociada con una subrasante débil (Saleh, 2015).

A pesar de que la deflexión máxima representa la rigidez total del pavimento, este indicador se vuelve ineficiente para la evaluación de la condición estructural de las capas intermedias de la estructura de pavimento.

A partir de los indicadores mencionados anteriormente, Horak (2008) propuso una clasificación de la condición estructural para varios tipos de pavimento. Esta metodología de clasificación permite identificar puntos específicos de deterioro en la evaluación estructural del pavimento. Por consiguiente, es una metodología óptima para realizar rehabilitaciones de pavimentos de manera eficiente y detallada. En el Tabla 6, se muestra la clasificación estructural propuesta por Horak según los indicadores de condición estructural.

Tabla 6. Clasificación de la condición estructural según los indicadores de condición estructural

Tipo de pavimento	Condición estructural	Indicadores de condición estructural				
		d_0 (μm)	R_0C (m)	BLI (μm)	MLI (μm)	LLI (μm)
Base granular	Buena	<500	>100	<200	<100	<50
	Regular	500-750	50-100	200-400	100-200	50-100
	Severa	>750	<50	>400	>200	>100
Base estabilizada con cemento	Buena	<200	>150	<100	<50	<40
	Regular	200-400	80-150	100-300	50-100	40-80
	Severa	>400	<80	>300	>100	>80
Base bituminosa	Buena	<400	>250	<200	<100	<50
	Regular	400-600	100-250	200-400	100-150	50-80
	Severa	>600	<100	>400	>150	>80

Siguiendo la metodología expuesta anteriormente, se procedió a calcular los indicadores de condición estructural para cada una de las mediciones realizadas en los tramos indicados en la Tabla 5. Seguidamente, se calculó el percentil 85 de los resultados obtenidos para cada tramo. Finalmente, se determinó las posibles capas afectadas según

la clasificación mostrada en la Tabla 6. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados del análisis de deflexiones

Tramo	Sentido	Estructura de pavimento	Percentil 85					Evidencia	Capas afectadas
			D ₀ (μm)	R ₀ C (m)	BLI (μm)	MLI (μm)	LLI (μm)		
I	Pococí - Limón	Flexible	385	409	163	110	45	Se evidencian daños en las capas intermedias de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular
	Limón - Pococí	Flexible	424	361	187	137	48	Se evidencian daños en las capas intermedias de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular
II	Pococí - Limón	Flexible	394	331	137	121	61	Se evidencian daños en las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular y capa de relleno
	Limón - Pococí	Flexible	442	502	154	142	70	Se evidencian daños en las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular y capa de relleno
III	Pococí - Limón	Semirrígido	351	937	123	103	54	Se evidencian daños en las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular
	Limón - Pococí	Semirrígido	264	1213	76	70	42	Se evidencian daños en las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular
IV	Pococí - Limón	Semirrígido	644	522	235	224	75	Se evidencia un daño generalizado de la estructura de pavimento.	Estructura de pavimento
	Limón - Pococí	Semirrígido	672	313	266	212	77	Se evidencia un daño generalizado de la estructura de pavimento.	Estructura de pavimento
V	Pococí - Limón	Semirrígido	342	852	101	94	52	Se evidencian daños en las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular y capa de relleno
	Limón - Pococí	Semirrígido	329	927	98	99	56	Se evidencian daños en las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular y capa de relleno
VI	Pococí - Limón	Flexible	358	346	157	107	46	La estructura de pavimento no tiene indicios de deterioros.	-
	Limón - Pococí	Flexible	291	436	105	88	47	La estructura de pavimento no tiene indicios de deterioros.	-
VII	Pococí - Limón	Flexible	308	465	112	84	41	La estructura de pavimento no tiene indicios de deterioros.	-
	Limón - Pococí	Flexible	263	509	106	78	40	La estructura de pavimento no tiene indicios de deterioros.	-
VIII	Pococí - Limón	Semirrígido	332	773	125	109	46	Se evidencian daños en las capas intermedias de la estructura de pavimento.	Base granular
	Limón - Pococí	Semirrígido	233	2896	51	61	33	Se evidencian daños en las capas intermedias de la estructura de pavimento.	Base granular

Tramo	Sentido	Estructura de pavimento	Percentil 85					Evidencia	Capas afectadas
			D ₀ (μm)	R ₀ C (m)	BLI (μm)	MLI (μm)	LLI (μm)		
IX	Pococí - Limón	Flexible	335	523	145	116	53	Se evidencian daños en las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular
	Limón - Pococí	Flexible	325	451	123	112	51	Se evidencian daños en las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular
X	Pococí - Limón	Flexible	431	255	216	136	49	Se evidencian daños en las capas superiores e intermedias de la estructura de pavimento.	Carpeta asfáltica y base granular
	Limón - Pococí	Flexible	410	267	209	120	43	Se evidencian daños en las capas superiores e intermedias de la estructura de pavimento.	Carpeta asfáltica y base granular
XI	Pococí - Limón	Flexible	321	643	127	106	46	Se evidencian daños en las capas intermedias de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular
	Limón - Pococí	Flexible	No se evaluó.						
XII	Pococí - Limón	Flexible	442	375	211	132	39	Se evidencian daños en las capas superiores e intermedias de la estructura de pavimento.	Carpeta asfáltica y base granular
	Limón - Pococí	Flexible	416	456	193	133	45	Se evidencian daños en las capas intermedias de la estructura de pavimento.	Base granular
XIII	Pococí - Limón	Flexible	337	558	156	113	39	Se evidencian daños en las capas intermedias de la estructura de pavimento.	Base granular
	Limón - Pococí	Flexible	436	593	175	136	52	Se evidencian daños en las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular
XIV	Pococí - Limón	Flexible	385	775	165	146	53	Se evidencian daños en las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular
	Limón - Pococí	Flexible	421	369	167	146	47	Se evidencian daños en las capas intermedias de la estructura de pavimento.	Base y subbase granular
XV	Pococí - Limón	Flexible	467	442	241	162	48	Se evidencian daños en las capas superiores e intermedias de la estructura de pavimento.	Carpeta asfáltica y base y subbase granular
	Limón - Pococí	Flexible	460	391	214	158	49	Se evidencian daños en las capas superiores e intermedias de la estructura de pavimento.	Carpeta asfáltica y base y subbase granular

Como se observa en el Tabla 7, la mayoría de los tramos evaluados tienen indicios de deterioros en las capas granulares de la estructura de pavimento (ver indicadores MLI y LLI). Este tipo de deterioros no se solucionan con la colocación de una sobrecapa, pues a pesar de que esta estrategia de intervención aporta a la capacidad estructural de toda la estructura de pavimento (indicador d₀), no soluciona los problemas evidenciados en las capas intermedias e inferiores del pavimento y con ello, hay un riesgo de que se reduzca la vida útil de la intervención planteada y de que la Administración deba incurrir en inversiones de mantenimiento o de rehabilitación del pavimento en un periodo menor al de diseño.

De los tramos evaluados, los tramos III, IV, V y VIII son los que presentan mayores indicios de deterioro, principalmente en las capas intermedias de la estructura de pavimento. En estos tramos, durante los sondeos a cielo abierto realizados por el LanammeUCR, se identificaron capas de base estabilizada con cemento Portland, probablemente de intervenciones previas buscando recuperar y aportar capacidad estructural al pavimento; sin embargo, las capas granulares (ubicadas en las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento) aún evidencian daños (ver Figura 10 y Figura 11), de ahí que la condición estructural de estas secciones de control sea severa (ver Tabla 6). Cabe mencionar que, en el análisis llevado a cabo por el contratista, en ninguno de estos tramos es necesaria la colocación de una sobrecapa, sólo se plantea colocar una sobrecapa de 4 cm con fines únicamente funcionales.

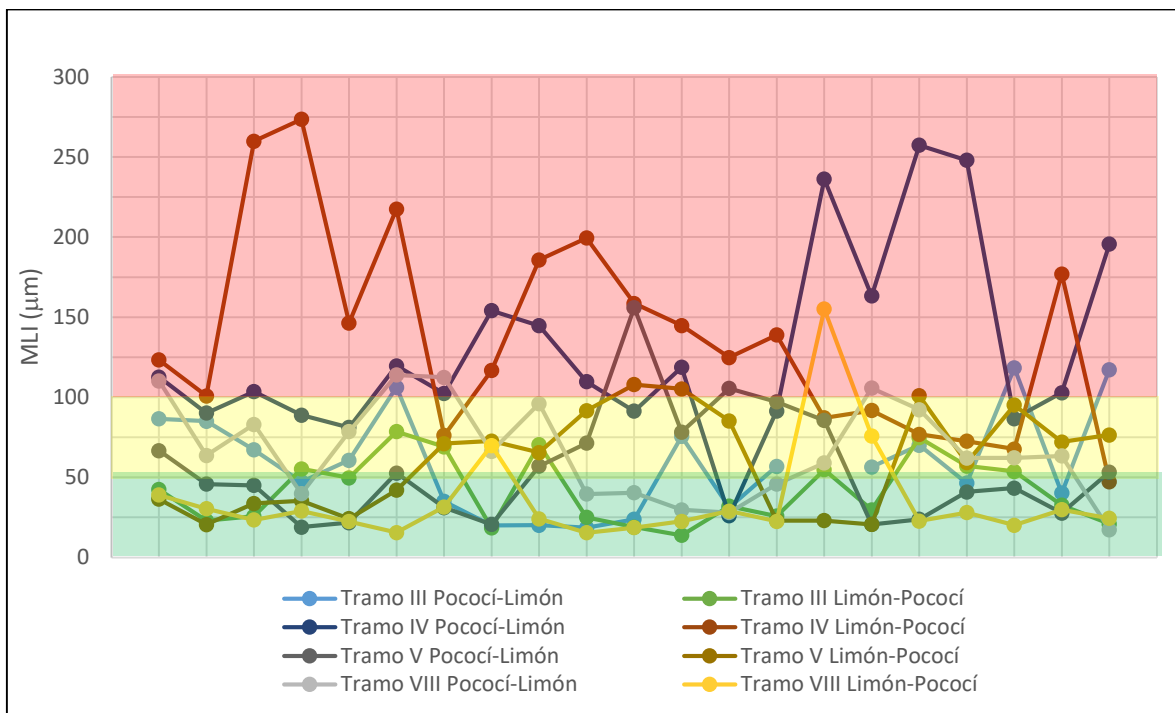


Figura 10. Indicador MLI para los tramos con base estabilizada con cemento Portland

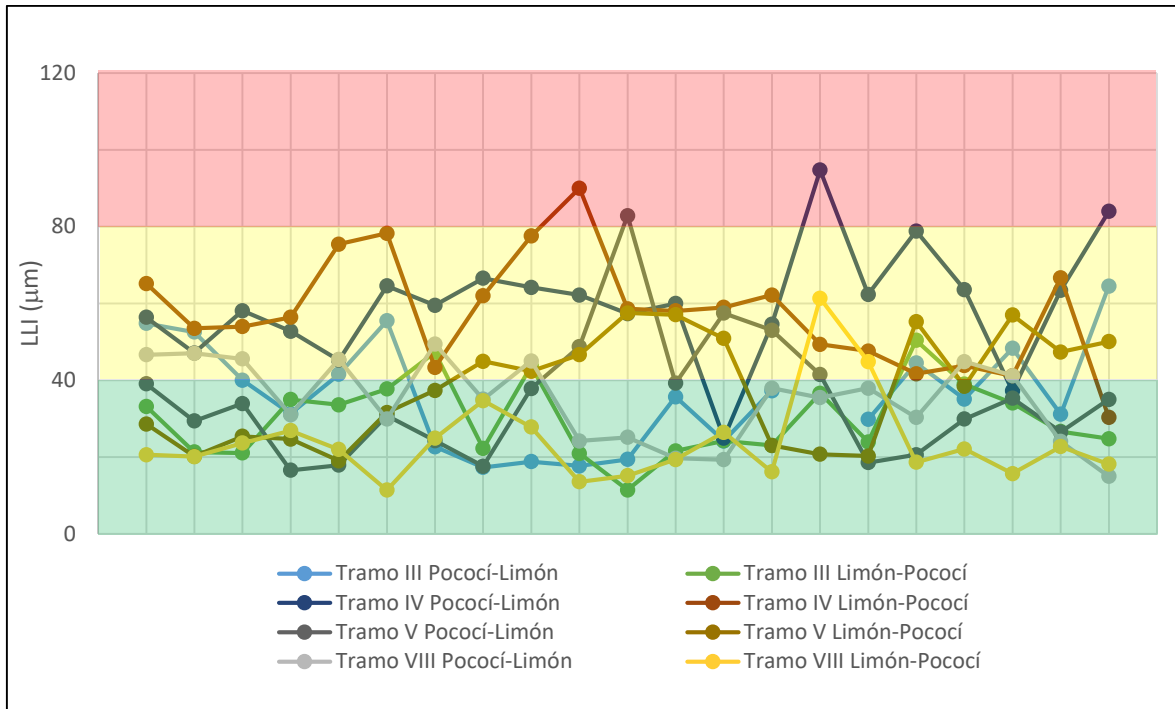


Figura 11. Indicador LLI para los tramos con base estabilizada con cemento Portland

Es criterio del Equipo Auditor que la estrategia de intervención propuesta en el diseño de la rehabilitación del pavimento existente (colocación de una sobrecapa funcional) puede no ser la óptima para brindarle a la estructura de pavimento la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas de tránsito que van a circular sobre ella, ya que como se evidenció en el análisis de deflexiones, las capas intermedias e inferiores de la estructura de pavimento presentan una baja rigidez estructural que puede afectar su vida útil y requieren de una intervención de rehabilitación a corto plazo.

En el oficio CSRN32-0460-2019 (adjunto del oficio UE-DRA-RN-32-009-2019-836), de la Supervisión del proyecto, se le indica al diseñador que es necesario realizar un análisis de retro cálculo de módulos de todas las capas, con el objetivo de evaluar su estado actual y posible comportamiento futuro.

Sobre la metodología del diseño de la rehabilitación de la estructura de pavimento existente

La rehabilitación planteada en el documento “Diseño de Rehabilitación del Pavimento Existente (Rev.5)” del mes de octubre 2019 plantea la recuperación de parte de la base existente y la capa asfáltica para la construcción de una base estabilizada y la colocación de una sobrecapa.

A diferencia del diseño pavimento revisado anteriormente (versión 1) donde se observó que la intervención se limitaba a la colocación de una sobrecapa asfáltica, esto pese a que el análisis de deflexiones realizado por el Equipo Auditor identificaba problemas en las capas intermedias en las diferentes estructuras de pavimentos existentes, en este caso se decidió



intervenir parte de las capas intermedias para mejorar la capacidad de soporte de las estructuras mediante una base estabilizada.

En este caso, se determina el número estructural requerido del pavimento existente mediante la caracterización de la capa de subrasante y subbase granular a partir de ensayos no destructivo (NDT, por sus siglas en inglés) y no por el método de la vida remanente como se exige en el documento Alcance del proyecto. Sin embargo, la metodología empleada es aceptable.

Factor ambiental

En el caso del cálculo del factor ambiental para *considerar la variación del módulo de los suelos producto del efecto de la humedad y la variación de la densidad por saturación del material debido a las condiciones de la zona y a las características de los materiales existentes, se debe indicar que en la actualización se brinda mayor detalle del cálculo del factor ambiental en relación con la revisión previa.*

Eso sí, se determina el mismo valor para todos los tramos evaluados, a pesar que las condiciones de humedad y porcentajes de saturación del suelo varían a lo largo del proyecto.

Omitir el efecto de la saturación de la subrasante puede ocasionar que la estructura de pavimento propuesta no tenga la capacidad estructural requerida tal como se señaló en el análisis previo.

Ausencia de tramos homogéneos.

El diseño de pavimentos de las rehabilitaciones de la estructura del pavimento existente de los diferentes tramos de la Ruta Nacional 32, permitió evidenciar la ausencia de la técnica de seccionamiento por tramos a lo largo de la sección de control a pesar de existir una variabilidad de espesores importantes.

A partir de las calicatas o sondeos realizados por la empresa contratista en el Anexo 2 del informe del mes de octubre 2019, se identificaron diferencias de gran magnitud en los espesores existentes a lo largo de la estructura de pavimento existente de cada una de las secciones de control donde se propuso un único diseño para su rehabilitación.

Así por ejemplo, la Sección de control:70471, comprendida entre los estacionamientos 119+640 a 135+255, con una longitud aproximada de 15,615 km, presentó un espesor mínimo de capa asfáltica de 12 cm (PK 126+965) y un máximo de 28 cm (PK 120+000), la base existente registró un máximo de 106cm (PK 131+965) y un mínimo de 29cm (PK 125+000), mientras que la subbase granular de 215 cm (PK 131+965) mostró un espesor máximo de 215 cm y un espesor mínimo de 0 (PK 131+965), pese a las diferencias evidenciadas el diseñador propuso una única estructura para los 15,615 km comprendidos en la sección de control.

La condición evidenciada de variabilidad de espesores aunado a la ausencia de tramos homogéneos en el diseño ocasionará que el proceso constructivo de la rehabilitación genere estructuras de pavimentos con diferentes condiciones estructurales. Es conocido



que la única capa del pavimento existente contemplada en las estructuras finales propuestas en el diseño es la subbase granular, por lo que tramos con espesores existentes mayores a los contemplados en el diseño estarán sobrediseñados, mientras las secciones con espesores menores de subbase granular serán subdiseñados y tendrán una menor vida útil.

Adicionalmente, se debe indicar que por experiencia de proyectos de rehabilitación de rutas nacionales en Conservación se ha evidenciado que muchas veces la variabilidad de espesores dificulta el proceso constructivo en especial la construcción de bases estabilizadas con cemento, repercutiendo en altas variaciones y problemas de control de la resistencia del material.

Sobre el retrocálculo de módulos contemplado en el diseño

Se evidenció que el valor retrocalculado de la subrasante fue multiplicado por un coeficiente según la metodología AASHTO 93 pese a ser estimado de un software ajeno a dicha metodología. Sobre este aspecto es importante reiterar que el factor de 0,33 deber ser aplicado para la metodología de retrocálculo establecida por AASHTO 93. La utilización de otras metodologías para la estimación de los módulos existentes, como la del análisis de deflexiones a través de diferentes geófonos, no contemplan la corrección del módulo de subrasante por dicho valor. De modo que su utilización en otras metodologías induce a un error de sobrediseño. Además, sobre este tema se debe mencionar que los valores retrocalculados corresponden a las condiciones y propiedades mecánicas propias de los materiales en sitio, razón por la cual si estos materiales son empleados en el diseño deberían mantener sus propiedades como tales y no ser corregidas.

Es criterio del Equipo Auditor que en lugar de utilizar el factor de corrección de AASHTO 93 en los módulos retrocalculados, sería más provechoso la realización de dos ensayos de deflectometría (en época seca y época lluviosa), de manera que se puedan determinar dos diferentes módulos elásticos y determinar un módulo efectivo en función de las estaciones climáticas del país. También, se recomienda comparar los valores retrocalculados con los resultados de caracterización de materiales granulares como por ejemplo módulo resiliente o CBR.

Por otra parte, no se logró determinar los porcentajes de error de los retrocálculos realizados para la estimación del módulo de subrasante y subbase contemplados en el diseño de la rehabilitación. Es recomendable que el retrocálculo o memoria de cálculo del diseño especifique muy claramente el tipo de error utilizado, magnitud, modelo matemático y los márgenes de aceptación utilizados.

La omisión de esta información dificulta las tareas de revisión, validación y aceptación de los resultados del retrocálculo, además, no es posible conocer la precisión de la solución encontrada para cada estacionamiento para cada uno de los módulos. Por lo que es recomendable que el retrocálculo o memoria de cálculo del diseño especifique muy claramente el tipo de error utilizado, magnitud, modelo matemático y los márgenes de



aceptación utilizados, ya que de lo contrario son pocas las conclusiones que se pueden obtener de dicho análisis.

Sobre el sobrediseño de la estructura de pavimento propuesta en el diseño de pavimentos para la rehabilitación

La revisión de la actualización del diseño de pavimentos de rehabilitaciones denominado “Diseño de Rehabilitación del Pavimento Existente (Rev.5)” permitió identificar sobrediseño en las estructuras propuestas a lo largo de los diferentes estacionamientos del proyecto.

Para esta nueva actualización el diseñador planteó la colocación de una capa asfáltica fija de 11 cm a lo largo del proyecto, un espesor variable de base estabilizada entre 21cm y 28 cm y la utilización de la subbase existente con un rango de espesor de 50 cm y 169 cm.

A partir de las dimensiones de las estructuras de pavimentos y la selección de los coeficientes estructurales y de drenaje se determinaron los números estructurales obtenidos los cuales se muestran en la Tabla 8 Los números estructurales obtenidos en el informe fueron comparados con los números estructurales requeridos para el periodo de 10 años seleccionado y a partir de la razón de estos dos parámetros se determinó el porcentaje de diseño de las estructuras propuestas que se muestran en el Tabla 8.

Tabla 8. Determinación de porcentaje de sobrediseño estructuras propuestas en tramos del proyecto

Diseño, Rehabilitación pavimento existente Ruta Nacional N°32			
Sección de control	SN obtenido	SN requerido	% de sobre-diseño
49+200 - 62+910	5,94	5,74	3%
62+910 - 67+360	7,52	6,95	8%
67+360 - 73+680	7,61	6,55	16%
73+680 - 84+310	7,31	6,13	19%
84+310 - 96+850	6,55	6,27	4%
96+850 - 109+770	7,76	6,06	28%
109+770 - 119+640	7,84	5,81	35%
119+640 - 135+225	10,10	6,48	56%
135+225 - 144+845	6,41	5,77	11%
144+845 - 156+535	6,89	6,07	14%

Fuente: CHEC, 2020.

El análisis comparativo entre el número estructural requerido y el número estructural obtenido permite evidenciar el cumplimiento de cada una de las estructuras de pavimentos propuestas según la metodología de diseño AASHTO 93. Sin embargo, a la vez se identificó que varias de las estructuras estaban sobrediseñadas con porcentajes superiores al 20%. En el caso de la estructura propuesta en la sección 119+640 a 135+225 fue la estructura con mayor sobrediseño con un porcentaje de 56%.

Dentro de la selección de los espesores considerados por el diseñador llama la atención la selección de una capa asfáltica fija de 11 cm en cada una de las estructuras y no así el establecimiento del espesor mínimo de 10 cm indicado por AASHTO93 para carretera con más de 7 millones de ejes equivalentes, esto al considerar que las rutas están sobrediseñadas.

También debe indicar que el cálculo del SN obtenido tampoco considera la utilización de mezcla asfáltica con polímero, lo cual podría aumentar el porcentaje de sobrediseño estimado, al tener este material mayor módulo de rigidez que una mezcla asfáltica convencional, tal como se señaló anteriormente.

De igual manera otro aspecto a considerar es la variabilidad de los espesores determinados para la base estabilizada en cada uno de los tramos contemplados en el proyecto. Así, por ejemplo, en la sección 119+640 a 135+225, donde se presenta un alto porcentaje de sobrediseño, se determinó utilizar una base estabilizada de 25 cm, mientras que en la sección de control: 49+200 a 62+910 se determinó una base estabilizada con 21 cm con el menor porcentaje de sobrediseño.

Llama la atención del Equipo Auditor que el diseñador considere espesores de subbase granular existente de magnitud de 1 m o mayor con las mismas propiedades mecánicas a lo largo de todo el espesor, ya que muchas veces la parte inferior de estas capas se encuentra contaminada o presenta una menor capacidad de soporte, por lo que en este caso se estaría sobreestimando la capacidad real del material. Así, por ejemplo, en el caso de la estructura propuesta en la sección 119+640 a 135+225 se contempla un espesor de subbase existente 1,39 m con un coeficiente estructural de 0,13. El aporte estructural de esta única capa de subbase en este tramo satisface el número estructural requerido de 6,48, tal como se muestra en la Figura 1 extraída del informe del diseño de pavimentos de octubre de 2019 presentado por la empresa contratista. Si se relaciona con el análisis de deflexiones realizado se refuerza el hecho de que las capas no están en óptimas condiciones por lo que utilizar un coeficiente de 0,13 podría más bien inducir a un subdiseño para este tramo.

Capa	Módulos	Aporte Estructural	Factor drenaje	Espesor capa	Espesor capa	SN	SN Obtenido	SN requerido	Condición
	psi	ai (1/in)	mi	Di (cm)	Di (in)	por capa	Sobre capa	Sobre capa	
Suppave	440000	0.44	1	11	4.33	1.91	-	-	-
BE 25	625000	0.16	1	25	9.84	1.57	1.91	0.95	yes
Subbase Granular	29189	0.13	0.9	139	54.53	6.62	3.48	3.42	yes
Subrasante	4425						10.10	6.48	yes

Figura 12. Tabla 29-8 Cálculo Número estructural SC 70471 119+640-135+225

Fuente: CHEC, 2020.



El Equipo Auditor a manera de ejemplo simuló cada una de las estructuras propuestas considerando la construcción de 21 cm de base estabilizada y la colocación del espesor mínimo de 10 cm indicado por AASHTO 93, todo lo anterior considerando los mismos coeficientes estructurales y de drenaje indicados por el diseñador.

Se debe aclarar que la realización de este ejemplo en ningún momento busca proponer que estos espesores sean los que se deben colocar. El objetivo de la simulación consistió en evidenciar desde el punto de vista del diseño, que no se encuentra consistencia en las decisiones tomadas por el diseñador para optimizar la estructura de pavimentos, al identificarse variabilidad en el espesor de la base estabilizada y la colocación de 1 cm de mezcla asfáltica adicional al espesor mínimo establecido por AASHTO 93.

En el Tabla 9 se muestra los números estructurales obtenidos considerando la colocación de una base estabilizada de 21 cm y una capa asfáltica de 10 cm.

Tabla 9. Determinación de porcentaje de sobrediseño estructuras de pavimento considerando construcción de base estabilizada 21 cm y carpeta asfáltica de 10 cm

Cálculo número estructural considerando 21 cm de BE y 10 cm MAC			
Ruta Nacional N°32			
Sección de control	SN obtenido	SN requerido	% de sobre-diseño
49+200 - 62+910	5,77	5,74	0,4%
62+910 - 67+360	7,09	6,95	1,9%
67+360 - 73+680	7,06	6,55	7,8%
73+680 - 84+310	6,69	6,13	9,2%
84+310 - 96+850	6,19	6,27	-1,3%
96+850 - 109+770	7,34	6,06	21,1%
109+770 - 119+640	7,67	5,81	32,0%
119+640 - 135+225	9,68	6,48	49,4%
135+225 - 144+845	5,99	5,77	3,8%
144+845 - 156+535	6,46	6,07	6,4%

Fuente: CHEC, 2020.

El cálculo del número estructural obtenido considerando 21 cm de base estabilizada y 10 cm de carpeta asfáltica, permite evidenciar una disminución de los porcentajes de sobrediseño: 6 de 10 tramos se encuentran por debajo del 10 % de sobrediseño. No obstante, el tramo comprendido entre los estacionamientos 84+310 - 96+850, no cumplió el SN requerido por lo que es necesario colocar los 11 cm de mezcla asfáltica. Por otro lado, se observó una leve disminución del porcentaje de sobrediseño en las secciones 96+850 - 109+770, 109+770 - 119+640 y 119+640 a 135+225, esto debido a que como se mencionó anteriormente estos tramos consideraron el aporte estructural de una capa de subbase existente con espesores de magnitud considerable entre los 95 cm y 139 cm.

Por lo tanto, se evidencia que no se identifica un criterio claro para justificar las variaciones de la capa de base estabilizada. Tampoco se es claro sobre la determinación de los 11 cm



de mezcla asfáltica en el diseño de pavimentos. Los criterios utilizados en el diseño pueden generar incertidumbre sobre si la opción presentada sea la mas óptima para el proyecto. Sin embargo, al tratarse de un contrato de suma alzada o llave en mano, el riesgo del diseño y construcción de las estructuras de pavimento es transferido totalmente al contratista, por lo tanto, es decisión de la Administración valorar si se deben realizar las variaciones a los espesores seleccionados por el contratista

Sobre el incumplimiento del espesor mínimo de subbase de algunos estacionamientos según el diseño de pavimentos propuesto.

El registro de sondeos realizados por la empresa contratista en el Anexo 2 del informe “Diseño de Rehabilitación del Pavimento Existente (Rev.5)” del mes de octubre de 2019, permitió determinar que al menos 13 estacionamientos de diferentes de sección de control no cumplirían con el espesor mínimo de subbase granular propuesto por el diseñador.

Es importante señalar que el informe del diseño de pavimentos presentado por el contratista en octubre 2019, establece como requisito del proceso constructivo de la base recuperada con cemento que el contenido de la mezcla asfáltica no sea superior al 50 %. La consideración de este criterio no influye directamente en el espesor remanente de la subbase granular.

Por lo tanto, a partir de esa restricción se simularon dos escenarios para estimar el espesor final de la subbase granular, que permiten evidenciar el incumplimiento del espesor mínimo considerado en el diseño de pavimentos propuesto en algunos estacionamientos.

El primero consiste en estimar el espesor de subbase granular considerando que el espesor total de la carpeta asfáltica existente va ser recuperada, es decir, no hay ningún tipo de perfilado previo y en algunas secciones no se cumple con el criterio del 50% del RAP.

El segundo escenario estima el espesor remanente de subbase granular, considerando que el 50% del espesor de la base recuperada con cemento sería RAP, en los casos de que los espesores de la capa existente sobrepasen dicho porcentaje y ajustándose a la especificación máxima anteriormente mencionada. Para este caso se debe considerar el perfilado de la capa asfáltica existente previo a la recuperación de la base con cemento, de manera que en cada estacionamiento se cumpla con el espesor requerido para no sobrepasar el porcentaje del 50 % del RAP.

En el Tabla 10, se muestran los estacionamientos y secciones de control donde se identificaron los incumplimientos de espesor de subbase granular para uno o dos escenarios.

Tabla 10. Secciones de control y estacionamiento con incumplimiento de espesor de subbase considerado en el diseño.

Sección de control	PK	H _{SB} (cm) diseño de pavimentos	H _{SB} (cm) sin perfilado de carpeta	Diferencia de espesor (cm)	H _{SB} (cm) con perfilado de carpeta	Diferencia de espesor (cm)
70150	50 +000	60	34	-26	29,5	-30,5
70150	53 +000	60	62	2	59,5	-0,5
70142	73+015	87	82	-5	77,5	-9,5
70141	76+000	79	71	-8	63	-16
70130	86+790	68	65	-3	61	-7
70090	97+000	95	72	-23	69,5	-25,5
70090	99+950	95	91	-4	87,5	-7,5
70090	100+980	95	100	5	94,5	-0,5
70472	110+00	96	106	10	95	-1
70471	120+000	139	154	15	138,5	-0,5
70471	128+010	139	130	-9	130	-9
70471	135+010	139	59	-80	45,5	-93,5
70070	155+010	74	22	-52	15,5	-58,5

Fuente: LanammeUCR

Cómo se logra observar en el Tabla 10, al menos 9 de las 13 secciones de control distintas, contarán con un espesor de subbase granular menor al especificado bajo las condiciones especificada en el diseño. Sobre este tema llama la atención del Equipo Auditor que no se considere la realización de tramos homogéneos especialmente en las secciones de control 70090 y 70471, en las cuales al menos 3 kilómetros presentarán problemas para cumplir con el espesor mínimo de subbase granular determinado en el diseño de pavimentos.

La colocación de espesores menores a los especificados en el diseño de pavimentos, puede repercutir en la durabilidad de la rehabilitación al no contar con la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas de tránsito proyectadas.

Otro de los aspectos que se debe considerar, es que en el documento del diseño de pavimentos del mes de octubre 2019 presentado por la empresa contratista, en ningún apartado se indican los espesores que se deben perfilar para cumplir con el requerimiento del 50 % máximo de RAP en la recuperación de la base con cemento. Por lo que la ausencia de esta guía podría dificultar el proceso constructivo de la base recuperada con cemento, generando posiblemente variaciones importantes en la resistencia del material, al no tener control del contenido de RAP en el proceso de estabilización. Por lo tanto, se le debe dar especial atención a dicho aspecto durante su ejecución.

Sobre el análisis de fatiga y deformación permanente

A diferencia del diseño de pavimento previo, la actualización de las rehabilitaciones sí permitió identificar la realización de análisis de desempeño de la estructura propuesta.

Informe LM-INF-IC-D-0014-20	Febrero, 2021	Página 45 de 140
-----------------------------	---------------	------------------



En este nuevo documento, se contempló el análisis de fatiga en la base estabilizada al considerarse esta capa la de mayor rigidez en la estructura de pavimentos propuesta. Si bien el concepto adoptado por el diseñador es considerado como correcto, no debe existir inconveniente en revisar la capacidad de fatiga de las capas asfálticas en cada una de las estructuras propuestas.

El análisis de deformación permanente, se realizó con la deformación vertical en la superficie de la subrasante. No se consideró la deformación de otras capas granulares mediante otros tipos de modelo.

Es importante señalar que los resultados de esta revisión se comunicaron a la Unidad Ejecutora del proyecto en las notas-informe LM-AT-139-18 (de fecha 24/10/2018) y LM-PI-028-2019 (de fecha 08/04/2019). La Administración brindó respuesta a la nota LM-AT-139-18 mediante el oficio UE-DRA-RN32-009-2019-836 (de fecha 04/07/2019). La Administración indicó que las observaciones realizadas en el oficio LM-PI-028-2019 son un valioso respaldo técnico para solicitar una nueva propuesta de rehabilitación del pavimento.

Observación No. 5. Las soluciones geotécnicas propuestas y los estudios geotécnicos desarrollados para el proyecto se consideran adecuados según las características evaluadas y el alcance del proyecto.

Con el apoyo del Programa de Ingeniería Geotécnica del LanammeUCR, se procedió a revisar la potencialidad de licuación de los puentes de los ríos Aguas Claras, Escondido, Cuba, Rojo, Toro y Blanco de la Ruta 32. Los resultados de este análisis se encuentran en el informe LM-PIG-04-18. Este informe se realizó debido a daños detectados por la Unidad de Puentes en diferentes estructuras de la Ruta 32 las cuales podrían deberse a la licuación del suelo.

Para este análisis se utilizó la carta de plasticidad modificada de Idriss et al, presentada de la ASCE del 2003, la cual incluye una zonificación de suelos potencialmente licuables.

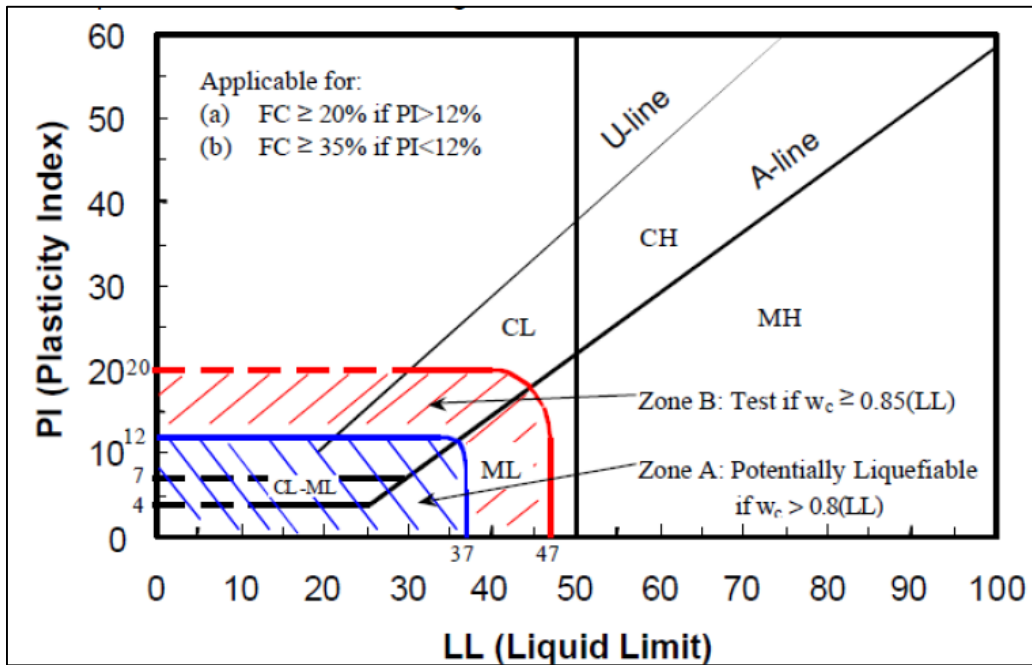


Figura 13. Carta de plasticidad modificada de Idriss et al.
Fuente: (ASCE, 2003)

Esta se puede utilizar para dos condiciones de suelos, a saber

- Contenido de finos mayores que 20%, si poseen índice de plasticidad mayor que 12%
- Contenido de finos mayores que 35%, si poseen un índice de plasticidad menor que 12%

También se debe aclarar que la licuación se puede producir cuando al clasificar el suelo, este se encuentra en la zona A (zona azul) donde existe potencial de licuación si el contenido de humedad natural del suelo es mayor al 80% del Límite Líquido ($w_c > 0.8 LL$), o se encuentra en la zona B, donde la licuación se podría presentar si el suelo posee un contenido de humedad natural mayor o igual al 85% del Límite Líquido ($w_c \geq 0.85 LL$). La zona C es libre de licuación, al menos en su presentación clásica.

Del análisis realizado por el Programa de Ingeniería Geotécnica del LanammeUCR con la información disponible se obtuvieron los siguientes resultados:

- Para el puente sobre el Río Aguas Claras no se considera necesario realizar un análisis adicional puesto que sólo se encontraron materiales arenosos por lo que el análisis de licuación realizado por la empresa es suficiente.
- Para los puentes del río Escondido y el río Rojo se realizó el análisis con la carta de plasticidad modificada; sin embargo, no presentan posibilidad de licuación. Por lo que los estudios aportados por la empresa se consideran suficientes.



- Para el puente sobre el río Cuba se realizó el análisis adicional; sin embargo, no clasificaron en las zonas A y B de potencialmente licuables por lo que no se consideran licuables.
- Para el puente sobre el río Toro, el material caracterizado en el estudio no presenta posibilidad de licuación, a pesar de esto se encontraban otros materiales plásticos en el sitio de perforación que no pudieron ser analizados ya que no se encontraban caracterizados.
- Finalmente, en el puente sobre el río Blanco, se realizó el análisis de los materiales plásticos cuyos resultados indican que los dos materiales pueden ser susceptibles a la licuación. El primero una arena limosa gris oscuro que fue analizada por la empresa consultora en su estudio, la cual dio un material susceptible a la licuación. El segundo una arena limosa café que no cumple con el criterio de humedad natural por lo tanto no se puede afirmar que es licuable. Sin embargo, existen otros materiales que no fueron caracterizados en este puente que podrían presentar condiciones de licuación.

Con base en las conclusiones obtenidas por el Programa de Ingeniería Geotécnica del LanammeUCR y el criterio del Equipo Auditor, se consideran que no existe evidencia de que existan suelos licuables que no hayan sido detectados previamente por de los estudios de suelos aportados por el contratista. Sin embargo, si existen algunos materiales que no fueron caracterizados que podrían ser susceptibles a la licuación en algunos puentes del proyecto.

Es importante señalar que los resultados de este informe se presentaron el lunes 5 de noviembre de 2018 a la Unidad Ejecutora y la Supervisora del proyecto, y se emitieron a la Unidad Ejecutora del proyecto en el oficio LM-AT-144-18 del 6 de noviembre de 2018.

Observación No.6. Existen debilidades en las memorias de cálculo realizadas para la evaluación estructural de los puentes existentes de la Ruta Nacional 32.

Con el apoyo del Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR, se realizó una Verificación de la calidad de las memorias de cálculo de los informes de evaluación estructural de los puentes existentes de la Ruta Nacional No.32. Estas memorias son parte de los estudios preliminares solicitados para definir la estrategia de intervención de los puentes.

Con base en los criterios presentados por Keith (2008), la Unidad de Puentes del PIE-LanammeUCR definió una lista de 25 criterios para verificar la calidad de las memorias de cálculo realizadas para la evaluación estructural de los puentes de la Ruta Nacional No. 32.

Tabla 11. Criterios definidos por la Unidad de Puentes del PIE-LanammeUCR para la verificación de las memorias de cálculo de la evaluación estructural de los puentes existentes de la Ruta Nacional No. 32 en el tramo Cruce de Río Frío-Limón.

Criterio
1. Se indican las cargas permanentes utilizadas en el análisis
2. Se indican las propiedades de los materiales que se utilizan en el análisis.



Criterio
3. Se utilizan ensayos no destructivos (END) para determinar las propiedades de los materiales
4. Los END utilizados brindan resultados confiables de las propiedades de los materiales
5. Se indican explícitamente las fuentes de información de las propiedades de los materiales (ensayos no destructivos, ensayos en muestras obtenidas en sitio, planos constructivos, valores supuestos).
6. Se indica explícitamente la normativa de referencia utilizada en el análisis.
7. Se utiliza normativa vigente
8. Se utiliza una carga viva de diseño acorde con normativa indicada.
9. Se utiliza una carga sísmica acorde con normativa indicada.
10. Se indica el software utilizado para realizar el modelo estructural y la versión correspondiente.
11. Se muestran las entradas y salidas completas del software utilizado (en tablas).
12. La figura del modelo estructural tiene la misma cantidad de elementos que el puente real.
13. Se obtienen las relaciones capacidad-demanda (C/D) de la losa de cada superestructura considerando los estados límite aplicables (resistencia y detalles de refuerzo)
14. Se obtienen las relaciones capacidad-demanda (C/D) de las vigas de cada superestructura considerando los estados límite aplicables (servicio y resistencia)
15. Se revisa la capacidad de carga ("load rating") de acuerdo con la normativa indicada en la memoria de cálculo.
16. Se obtienen las C/D de todos los elementos que componen los apoyos considerando todos los estados límite aplicables (servicio, resistencia, evento extremo)
17. Se obtienen las C/D de los bastiones considerando todos los estados límite aplicables (servicio, resistencia, evento extremo), variaciones en geometría y en detalles estructurales.
18. Se obtienen las C/D de las pilas considerando todos los estados límite aplicables (servicio, resistencia, evento extremo), variaciones en geometría y en detalles estructurales.
19. Se obtienen las C/D de las cimentaciones de los bastiones considerando todos los estados límites aplicables (servicio, resistencia, evento extremo), modos de falla (deslizamiento, volcamiento, capacidad de soporte, flexión, cortante, punzonamiento), variaciones en geometría y en detalles estructurales.
20. Se obtienen las C/D de las cimentaciones de las pilas considerando todos los estados límites (servicio, resistencia, evento extremo), modos de falla (deslizamiento, volcamiento, capacidad de soporte, flexión, cortante, punzonamiento), variaciones en geometría y en detalles estructurales.
21. Se muestran explícitamente las combinaciones de carga utilizadas.
22. Las combinaciones de carga son consistentes con las establecidas en la normativa indicada
23. Se muestran explícitamente las ecuaciones de cálculo utilizadas para determinar la resistencia estructural nominal
24. Los resultados indicados en el informe de evaluación estructural corresponden con los resultados obtenidos en la memoria de cálculo



Criterio
25. La asignación del factor de reducción de resistencia por condición de conservación es consistente con la condición encontrada en sitio y con la normativa vigente.

Los criterios mostrados en la Tabla 11, buscan una verificación de la calidad en las memorias de cálculo, basándose en la verificación del seguimiento que una persona técnicamente calificada e independiente del contratista pueda dar a los cálculos realizados, sin tener que recurrir al autor de los cálculos para comprender los procedimientos utilizados.

Los criterios de la Tabla 11, se pueden agrupar como se muestra a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12. Agrupamiento de los criterios de la UP con base en las preguntas en que Keith (2008) resume los criterios de verificación de cálculos ingenieriles.

Pregunta-resumen para verificación de cálculos ingenieriles (Keith, 2008)	Número de criterio definido por la Unidad de Puentes del PIE-LanammeUCR
¿Los datos de entrada fueron correctamente seleccionados y fueron incorporados en los cálculos?	1, 2, 3, 4, 5
¿Las suposiciones realizadas son adecuadas?	4, 5, 8, 12, 25
¿El método de cálculo es adecuado?	10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
¿Se ha considerado la experiencia operativa aplicable?	6, 7, 8, 9, 25

Muestreo para realizar la revisión de memorias de cálculo:

La cantidad de puentes del tramo Cruce de Río Frío - Limón de la Ruta Nacional No. 32, es 33 estructuras y se realizó una memoria de cálculo por cada puente. Sin embargo, los puentes de la Ruta Nacional No. 32 tienen tipologías similares, por lo que las memorias de cálculo tienen muchas similitudes entre un puente y otro. Se consideró tomar una muestra de una memoria de cálculo de cada tipo que se ha encontrado, utilizando los siguientes parámetros de selección:

- Que las memorias de cálculo tuvieran diferencias apreciables en las metodologías de cálculo.
- Que el puente en análisis tuviera detalles estructurales que llevaron a hacer cambios en la metodología utilizada en la memoria de cálculo. Por ejemplo: puentes de concreto pre-esforzado versus puentes de acero, cimentaciones tipo placa versus cimentaciones con pilotes.
- Que el formato de presentación de la memoria de cálculo fuera distinto al compararlo con las demás.

Con base en lo anterior se realizaron revisiones para cuatro tipos de memorias de cálculo:

Tabla 13. Tipos de memoria de cálculo incluidas en las evaluaciones estructurales de los puentes de la Ruta No. 32 (Tramo Cruce de Río Frío-Limón)

Informe LM-INF-IC-D-0014-20	Febrero, 2021	Página 50 de 140
-----------------------------	---------------	------------------



Tipo	Descripción general de la memoria de cálculo	Puentes con memoria de cálculo del tipo especificado
A	<p>La memoria de cálculo tiene un formato estandarizado, se utilizan procedimientos de cálculo para superestructuras tipo viga de concreto pre-esforzado o vigas de acero, de uno o varios tramos, simplemente apoyados o continuos. Los cálculos en bastiones y las pilas se basan en procedimientos de cálculo para concreto reforzado. Se muestran cálculos para cimentaciones superficiales (placa) y se utilizan las Especificaciones Estándar de AASHTO 2002</p>	<p>Río Corinto Río Costa Rica Río Blanco Río Danta Río Molinos Río Jiménez Río Roca Río Guácimo Río Guacimito Río Parismina Río Dos Novillos Río Destierro Río Dos Vueltas Paso Superior Ferrocarril Río Pacuarito Río Cimarrones Río Madre de Dios</p>
B	<p>La memoria de cálculo tiene un formato estandarizado, similar a la memoria tipo A. Se diferencia en que en este tipo de memoria de cálculo se muestran procedimientos de cálculo de cimentaciones profundas (pilotes).</p>	<p>Río Pacuare Río Hondo Río Barbilla Quebrada Calderón Río Aguas Claras Río San Miguel Río Escondido Río Cuba Río Rojo Río Madre Río Blanco</p>
C	<p>La memoria de cálculo tiene un formato estandarizado distinto a las memorias tipo A y B. Se utilizan procedimientos de cálculo para superestructuras de concreto pre-esforzado, continuos tipo cajón o simplemente apoyados tipo vigas. Los cálculos en bastiones y las pilas se basan en procedimientos de cálculo para concreto reforzado. Se muestran cálculos para cimentaciones superficiales (placa) y se utilizan las Especificaciones LRFD de AASHTO 2012.</p>	<p>Río Toro Amarillo Río Reventazón Río Siquirres</p>
D	<p>La memoria de cálculo tiene un formato estandarizado similar al de la memoria tipo C. Se diferencia en que este tipo de memoria de cálculo se utiliza para superestructuras tipo vigas de acero, continuas o simplemente apoyadas, con cimentaciones profundas (pilotes).</p>	<p>Río Siquirres Río Toro Río Chirripó</p>

De la Tabla 13, se puede notar que no se hace distinción cuando los puentes tienen cimentación con pilotes de acero o de concreto. Esto se debe a que en todos los casos se corroboró que solamente se revisa la capacidad de la cimentación basándose en las propiedades del suelo, y en ningún caso la capacidad estructural de los pilotes.

Tabla 14. Puentes elegidos para verificación de memorias de cálculo

Tipo	Puente para revisar memoria de cálculo
A	Río Corinto
B	Río Cuba
C	Río Reventazón
D	Río Toro

El procedimiento que se siguió para la revisión de las memorias de cálculo es una verificación del cumplimiento de los criterios mostrados en la Tabla 11. En cada memoria de cálculo se evaluó si cada una satisface tres niveles: los criterios se cumplían en su totalidad, se cumplían parcialmente o no se cumplían. Entonces, como herramienta de revisión se utilizó un formulario donde se indicaron los criterios, el grado de cumplimiento con cada criterio y observaciones específicas de la revisión de cada tipo de memoria de cálculo.

REVISIÓN DE EVALUACIONES ESTRUCTURALES DE PUENTES EXISTENTES DISEÑO, REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LA RUTA NACIONAL N° 32 CARRETERA BRAULIO CARILLO.				
Puente: <u>Puente río Cuba</u>				
Informe: <u>INF-PC-17-05-145</u>				
Criterio	Cumplimiento			Observaciones
	Sí	Parcial-mente	No	
1	Se indican las cargas permanentes utilizadas en el análisis.	X		Si se indican en la memoria de cálculo
2	Se indican las propiedades de los materiales que se utilizan en el análisis.	X		Si se indican en la memoria de cálculo
3	Se utilizan ensayos no destructivos (END) para determinar las propiedades de los materiales		X	Si se realizan algunos ensayos no destructivos, pero los resultados (principalmente de resistencia a compresión de concreto) no se utilizan para determinar las propiedades de los materiales de los elementos estructurales, las cuales, se obtienen de los planos. No se realizan END para determinar la distribución y diámetro del acero refuerzo.
4	Los END utilizados brindan resultados confiables de las propiedades de los materiales		X	Se utiliza el esclerómetro para determinar la resistencia de vigas, bastiones y pilas, que no es un buen indicador de resistencia, y solo se debería utilizar para determinar comparativamente zonas de baja resistencia. Se realizan pruebas de extracción y compresión de núcleos de concreto en el bastión 1, en el bastión 2, en la pila 1 y en la pila 2, los cuales brindaron una resistencias mayores que las especificadas en los planos. Solamente, se extrae un espécimen de cada elemento. Los resultados de esclerómetro y los resultados de núcleos no se se utilizan en el análisis de capacidad estructural realizado.
5	Se indican explícitamente las fuentes de información de las propiedades de los materiales (ensayos no destructivos, ensayos en muestras obtenidas en sitio, planos constructivos, valores supuestos).		X	En el informe se enumeran las propiedades de los materiales indicadas en los planos. No obstante, En el criterio de cálculo (Anexo C) no se indican las fuentes, solamente los valores de las propiedades, sin embargo, por comparación se corrobora que provienen de los planos y ninguno de los ensayos realizados.
6	Se indica explícitamente la normativa de referencia utilizada en el análisis.	X		En la memoria de cálculo y en el resumen ejecutivo del informe se indican las siguientes especificaciones: Especificaciones Estándar para puentes de Carretera, AASHTO 2002. Requisitos del Reglamento para Concreto Estructural y Comentarios ACI 318S-08. Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de puentes, marzo 2013. Informe de Estudio Geotécnico IIM-16-021-15, IMNSA 2016

Figura 14. Fragmento de un formulario para verificación de calidad de las memorias de cálculo

De la revisión realizada en las memorias de cálculo, con el tipo de ficha mostrada en la Figura 14, se obtuvieron los porcentajes de cumplimiento con los criterios de revisión de la Tabla 11. Los porcentajes de cumplimiento obtenidos se muestran en el Tabla 15.



Como se puede observar en la Tabla 15, los tipos de memorias de cálculo que presenta el contratista apenas alcanzan el 60% de cumplimiento con los criterios de verificación que se utilizan en este informe. Lo anterior, refleja que las memorias de cálculo tuvieron varias inconsistencias con los criterios de revisión.

Tabla 15. Porcentajes de cumplimiento con los criterios de verificación de la UP del PIE-LanammeUCR de cada memoria de cálculo

Tipo	Puente para revisar memoria de cálculo	Porcentaje de cumplimiento con criterios
A	Río Corinto	52%
B	Río Cuba	48%
C	Río Reventazón	62%
D	Río Toro	58%

Observaciones de la memoria de cálculo tipo A:

- No se utilizó normativa vigente. En las memorias de cálculo se hace referencia a las Especificaciones Estándar de AASHTO 2002; sin embargo, se debería utilizar como mínimo las Especificaciones AASHTO LRFD 2012 según lo indicado en los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos [CFIA], 2013).
- Los cálculos de resistencia estructural no están completos. En el caso de vigas de concreto pre-esforzado no se revisó el estado límite de servicio. En los bastiones y en las pilas no se consideraron los cambios de la sección de los elementos. Además, sólo se revisó un bastión o una pila, aunque el puente tenga más de uno de estos elementos, y existan variaciones en los detalles estructurales de refuerzo y en las dimensiones.
- En bastiones, pilas y cimentaciones se evidencia que solo se analizó el estado límite de evento extremo, omitiendo los otros estados límite.
- En las cimentaciones tipo placa solamente se revisó el cumplimiento con la capacidad de soporte del suelo y la excentricidad (revisión de volcamiento). No se realizaron análisis de capacidad estructural por flexión, cortante y cortante por punzonamiento.

Observaciones de la memoria de cálculo tipo B:

- No se utilizó la normativa vigente. En las memorias de cálculo se hace referencia a las Especificaciones Estándar de AASHTO 2002; sin embargo, se debería utilizar como mínimo las Especificaciones AASHTO LRFD 2012 según lo indicado en los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes (CFIA, 2013).
- Los cálculos de resistencia estructural no están completos. En el caso de vigas de concreto pre-esforzado no se revisó el estado límite de servicio. En los bastiones y en las pilas no se consideraron los cambios de la sección de los elementos. Además, sólo se revisa un bastión o una pila, aunque el puente tenga más de uno de estos



elementos, y existan variaciones en los detalles estructurales de refuerzo y en las dimensiones.

- En bastiones, pilas y cimentaciones aparentemente solo se analizó el estado límite de evento extremo, omitiendo los otros estados límite.
- En las cimentaciones con pilotes solamente se revisó la capacidad de carga del suelo por fricción y por punta. No se realizaron revisiones estructurales de los pilotes. Además, no es posible dar seguimiento a la metodología de cálculo utilizada para determinar la capacidad admisible del suelo a partir de los datos del estudio geotécnico correspondiente o de los planos.
- No se revisó la flexión, el cortante y el cortante por punzonamiento de la placa del cabezal de los pilotes.
- No se muestran las ecuaciones utilizadas en la hoja de cálculo donde se desarrolla la memoria de cálculo. Tampoco se muestran las combinaciones de carga que se utilizan para estimar la demanda de fuerzas en los elementos.

Observaciones de la memoria de cálculo tipo C:

- No se muestran las ecuaciones utilizadas en la hoja de cálculo donde se desarrolla la memoria de cálculo. Sin embargo, en casos puntuales se hace referencia a artículos de la especificación AASHTO LRFD 2012, donde si aparecen ecuaciones. Además, se incluyeron las combinaciones de carga utilizadas para cada estado límite revisado.
- No se revisó la relación capacidad/demanda (C/D) de los apoyos elastoméricos, aunque en el informe correspondiente se indique que éstos están deteriorados.
- En la memoria de cálculo se revisó que las pilas cumplan con los criterios de cálculo para flexo-compresión y cortante. Sin embargo, según la normativa AASHTO LRFD 2012, esta comprobación no es necesario realizarla para el estado límite de servicio; este estado límite se utilizaría más bien para chequear la distribución de refuerzo para control de agrietamiento, lo cual no se realizó en la memoria de cálculo.
- Se utilizó la capacidad admisible del suelo indicado en planos para revisar las cimentaciones tipo placa, la cual, es mayor que la capacidad admisible del suelo obtenido del estudio geotécnico respectivo. Esto lleva a resultados que podrían indicar erróneamente que la cimentación es segura.

Observaciones de la memoria de cálculo tipo D:

- No se muestran las ecuaciones utilizadas en la hoja de cálculo donde se desarrolla la memoria de cálculo. Sin embargo, en casos puntuales se hace referencia a artículos de la especificación AASHTO LRFD 2012, donde si aparecen las ecuaciones. Además, se incluyeron las combinaciones de carga utilizadas para cada estado límite revisado.
- En la revisión del estado límite de servicio para las vigas de acero, se utilizó una metodología de diseño que no está conforme con la metodología indicada en la Especificación AASHTO LRFD 2012 (Artículo 6.10.4) (AASHTO, 2012).



- Debido a que el puente sobre el río Toro no tiene pilas, en el reporte se revisó la metodología utilizada para calcular la relación capacidad/demanda (C/D) de las pilas, pero en el caso del puente sobre el río Chirripó, en la memoria de cálculo se revisó que las pilas cumplan con los criterios de cálculo para flexo-compresión y cortante.
- En la memoria de cálculo del río Toro, no se realizaron cálculos de capacidad para la viga cabezal y el cuerpo de los bastiones. Se comprobó que tampoco se realizaron en la memoria de cálculo del puente sobre el río Chirripó.
- En la memoria de cálculo del puente sobre el río Toro, se revisó la capacidad para un apoyo mecánico (tal como los del puente sobre el río Chirripó), pero este puente tiene apoyos elastoméricos, a los cuales no se les revisó la capacidad estructural.
- Para revisar la capacidad de carga de los pilotes (en pilas y bastiones), se utilizaron los datos indicados en planos y no los del estudio geotécnico.
- La capacidad de carga utilizada para calcular los pilotes es mayor que la especificada en el estudio geotécnico, lo cual lleva a resultados que podrían indicar erróneamente que la cimentación es segura.
- No se calculó la capacidad estructural de los pilotes.

Es criterio de la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural, así como del Equipo Auditor que existen incumplimientos en el uso de la normativa vigente, metodologías de cálculo ocultas que no permitían seguir completamente el procedimiento utilizado y que en algunos casos no coincidían con los procedimientos indicados en la normativa vigente, así como la omisión de la revisión de algún estado límite en algún componente, lo cual puede ocasionar que los resultados obtenidos por el consultor no se apeguen a la realidad de la estructura analizada.

Es importante señalar que los resultados de este informe se presentaron el lunes 5 de noviembre de 2018 a la Unidad Ejecutora y la Supervisora del proyecto y se emitieron a la Unidad Ejecutora del proyecto en el oficio LM-AT-144-18 del 6 de noviembre de 2018. Esto es contestado por la Administración mediante el oficio UE-DRA-RN32-009-2019-277 (692) del 6 de marzo de 2019, en el cual indican que la metodología seleccionada por el LanammeUCR es subjetiva ya que no existe una normativa que regule cuáles son los pasos necesarios que se deben mostrar en una memoria de cálculo.

El LanammeUCR contestó mediante oficio LM-IC-D-0693-19 del 28 de agosto de 2019, que, si bien es cierto que no existe un reglamento para revisar las memorias, la propuesta del LanammeUCR se fundamenta en las buenas prácticas de la ingeniería y permitirá agilizar el proceso de revisión de memorias de cálculo de tipo estructural por parte de la Administración. En el descargo presentado por la Administración a este informe se indica que estas memorias no son finales, ya que son las memorias de cálculo de los informes de evaluación estructural de los puentes existentes, sin embargo se indica que la revisión de las mismas tenía como objetivo detectar deficiencias en las mismas en aras de mejorar calidad de memorias futuras para este y otros proyectos.



Observación No. 7. Se evidenciaron oportunidades de mejora en el diseño geométrico del proyecto.

Como parte de la auditoria del proyecto, la Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT) del LanammeUCR, procedió a revisar los planos de diseño geométrico y señalización anexados en el oficio UE-DRA-RN32-009-2020-0367 (179) del 9 de marzo del 2020, además del Informe de Diseño Geométrico del proyecto de noviembre del 2017 (IDG 2017). Durante esta revisión encontraron las siguientes observaciones con respecto a los documentos citados.

Respecto velocidad de diseño del carril exterior

En el IDG-2017 se indica que para los carriles exteriores se usa una velocidad de diseño de 80 km/h; sin embargo, en el memorando de acuerdo, del 18 de febrero de 2013, como en el documento “Alcance de las obras incluidas en el proyecto de la Ruta 32, Cruce Ruta Nacional 4 – Limón”, se establece una velocidad de diseño de 100 km/h. Se indica en el IDG-2017 que “teniendo en cuenta los camiones en los carriles exteriores, la cantidad de accesos y otros factores, para los carriles exteriores se usa la velocidad de diseño de 80 km/h. También se menciona que la velocidad de 80km/h no es acorde con el Plan Nacional de Transportes para la Red Vial Estratégica, de la cual es parte la Ruta 32. Adicionalmente, al hacer una revisión de un informe realizado por la USVT para los patrones de velocidad de la Ruta 32 del año 2016 se puede observar:

“que un 24,8 % de los vehículos de dos ejes y un 11,2 % de los vehículos de cinco o más ejes supera los 80 km/h. Inclusive un 3,5 % de los vehículos de dos ejes viajan por encima de los 100 km/h; y para todos los vehículos entre dos y cuatro ejes, el percentil 85 de los vehículos supera los 80 km por hora. Adicionalmente, el percentil 85 para los vehículos de cinco o más ejes era de 78 km/h”.

Al considerar el total de los vehículos el percentil 85 para los días domingo, llega a 87,8 km/h y el percentil 85 de operación en la ruta supera los 80 km/h para los diferentes días de la semana.

Debido a lo anterior, es criterio del LanammeUCR que la velocidad de diseño de la vía debe mantenerse tal y como se estipula en el “Memorándum de acuerdo para el proyecto de diseño, rehabilitación y ampliación de la Ruta Nacional N°32 Carretera Braulio Carrillo, sección intersección Ruta Nacional N°4 (Cruce a Sarapiquí) – Limón”, del 18 de febrero de 2013 (en adelante MOA, 2013), el cual es un documento referente en el contrato para la ampliación y rehabilitación de la ruta.

Respecto a las dimensiones recomendadas para distintos elementos de la carretera

Durante la revisión del IDG-2017, se detectó que la longitud del carril de aceleración de las rampas propuesto es de 145 m con una velocidad de diseño de 80 km/h y la longitud del carril de desaceleración propuesto es de 100 m. De acuerdo con SIECA (2011), para una



velocidad de diseño de 100 km/h y una velocidad de inicio del carril de aceleración de 50 km/h, la longitud de la rampa debe ser de 255 m (Cuadro 6.5, p. 253). SIECA (2011) establece que para una velocidad de diseño de 100 km/h y una velocidad de diseño en la curva de salida de 50 km/h, la longitud mínima de la rampa de desaceleración debe ser de 135 m (Cuadro 6.7, p. 258). Similarmente, en la p. 38 del IDG-2017 se establece que “La longitud del carril de aceleración es de 145 m, la sección de transición es de 90 m. Y la longitud del carril de desaceleración es de 100 m, la sección de transición es de 55 m.” Es decir, se evidencia que éstas no cumplen con las distancias recomendadas por SIECA (2011) para una velocidad de diseño de 100 km/h en la vía principal. Además, en la p. 10 del IDG-2017, se indica que, para las rampas de intercambio, se considera 40 km/h como la velocidad de diseño; sin embargo, en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011) en el Cuadro 6.2 indica que la velocidad de diseño en rampas debe ser de 50 km/h, 70 km/h y 90 km/h para sus rangos inferior, medio y superior respectivamente.

En la p. 78 del IDG-2017 de diseño geométrico se indica que el radio mínimo en curvas de rampa es de 45 metros. De acuerdo con SIECA (2011), el radio mínimo en curvas para una velocidad de diseño de 50 km/h es de 79 metros para un peralte del 6 %.

Esta situación se mantiene para las alturas libres recomendadas ya que el IDG-2017 propone que deben ser por lo menos de 4,9 m y 5,1 m para puentes peatonales y armazones de señalamientos, respectivamente. Sin embargo, el SIECA 2011 establece que la altura deseable debe ser de 5.5 m.

Caso similar es con el tema de los espaldones, los cuales se recomiendan en el IDG-2017 de ser de 1,8 metros y en la zona de Limón de 1 metro. SIECA recomienda 2,5 a 3 metros para arterias rurales.

Es criterio del LanammeUCR que la reducción de estas dimensiones le resta seguridad a la vía. Estas observaciones fueron remitidas a la Unidad Ejecutora mediante oficio LM-IC-D-0428-2020 del 26 de mayo de 2020. Estas observaciones fueron aclaradas por parte de la Administración durante una reunión sostenida el 21 de setiembre del 2020 con funcionarios de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte; sin embargo, no se ha recibido respuesta formal.

SOBRE EL DISEÑOS DE LOS MATERIALES

Observación No. 8. El diseño del concreto autocompactable de pilotes no se ajustó a los parámetros y ensayos mínimos que deben realizarse para este tipo de concretos según el Manual ACI 237R.

A solicitud de la auditoría técnica, el Programa de Ingeniería Geotécnica del LanammeUCR realizó el informe LM-IG-01-19, en el cual se realiza una revisión del diseño del concreto autocompactable utilizado en los pilotes. La revisión del diseño de mezcla del concreto autocompactable para los pilotes del proyecto, permitió evidenciar errores de concepto en la metodología y parámetros empleados para su definición.



El primer aspecto por destacar en la revisión del diseño de mezcla es que en el apartado 3.2.5 “Diseños de concreto” del informe 40-002-2019, se indica que, como uno de los parámetros generales de diseño, la mezcla tiene un asentamiento de 210 mm. Este dato fue comparado contra la especificación el CR-2010 en su sección 552 y con el ACI 318, que indica que debe encontrarse en un rango entre 180 mm a 220 mm para un concreto convencional. Por lo tanto, la propiedad de asentamiento fue el parámetro utilizado en el diseño de la mezcla, esto en lugar de haberse considerado el flujo de asentamiento, que es el parámetro que se debe satisfacer en concretos autocompactables según el Manual ACI 237R “Self-consolidating concrete”.

El ACI 237R define concreto autocompactante como un concreto altamente fluido, no segregado que puede compactarse en su sitio, llenar el encofrado y encapsular el refuerzo sin necesidad de consolidación mecánica. Además, el manual recomienda como primer paso, el establecimiento del flujo de asentamiento que se requiere para la mezcla de concreto para la estimación de las proporciones de los materiales a contemplar en el diseño del material. Por consiguiente, se evidencia la importancia del por qué se debió haber considerado este parámetro en el diseño de la mezcla del concreto autocompactable de los pilotes del proyecto.

En contraste a lo anterior, según la norma ASTM C143, el método de ensayo para determinar el asentamiento de una mezcla es aplicable a concretos plásticos y cohesivos. El concreto autocompactable carece de la característica de cohesividad a la que se refiere esta norma, por tratarse de un concreto muy fluido. Por tanto, establecer un valor de asentamiento en una mezcla de concreto autocompactable no corresponde con lo especificado en la norma.

Por otra parte, si el diseñador de materiales tomó como base las propiedades de la sección 552 del CR-2010 para el estado fresco del concreto en cuestión, específicamente el asentamiento de la mezcla de concreto, debió haber considerado que la tabla 552-1(a) se refiere a concretos convencionales y no a concretos autocompactables, aunque esto no se indique de manera explícita. Cabe aclarar que el CR-2010 no indica el uso de concretos autocompactables, pero tampoco su prohibición. Sobre este aspecto, es criterio del Equipo Auditor que, si en un proyecto de obra nueva de tal magnitud se permite el uso de este tipo de concretos, se debería contar con especificaciones claras de los requisitos del material para verificar su cumplimiento.

El segundo aspecto a considerar referente al diseño de mezcla para concreto autocompactable suministrado por la Administración, fue que la mayoría de los parámetros de proporciones típicas de materiales para la debida dosificación de este tipo de concreto, no se ajustan a los límites establecidos en la norma ACI 237R.

Lo anterior se identificó a partir de la comparación de las proporciones obtenidas del informe 40-002-2019 versus la especificación típica de materiales del concreto autocompactante indicadas en el ACI 237R, la cual se muestra en la Tabla 17.

Tabla 16. Razón de proporciones típicas de materiales del concreto autocompactable

	ACI 237R	Informe 40-002-2019	Observaciones
Volumen absoluto de agregado grueso	- 28% a 32% (tamaño máximo nominal mayor a 12 mm) - Hasta 50% (tamaño máximo nominal de 9,5 mm)	34,3% (0,343 m ³)	Excede el rango recomendado
Porción de pasta	34% a 40%	34% (0,34 m ³)	Cerca del límite inferior del rango recomendado
Porción de mortero	68% a 72%	66,6% (0,326 m ³)	Inferior al rango recomendado
Relación a/c típica	0,32 a 0,45	0,482	Excede el rango recomendado, riesgo potencial por pérdida de viscosidad y presencia de segregación
Típico contenido de cemento	386 kg/m ³ a 475 kg/m ³	390 kg/m ³	Cerca del límite inferior del rango recomendado.

Fuente: Informe LM-IG-01-19, LanammeUCR.

Se evidencia que los resultados obtenidos para todas variables se encuentran fuera de los rangos sugeridos a excepción del contenido de cemento.

La relación agua/cemento para la mezcla propuesta es de 0,482, siendo el rango recomendable de 0,32 a 0,45, por lo que la mezcla, al tener más agua que los valores óptimos, puede perder viscosidad y se puede generar una importante segregación del material.

El contenido de cemento que el diseñador determinó como óptimo para producir la resistencia de diseño requerida fue de 390 kg/m³; sin embargo, este valor se encuentra cercano al límite inferior recomendado en la norma ACI 237R, lo cual de igual manera podría contribuir a la afectación de la viscosidad de la mezcla.

Referente al proporcionamiento del volumen del agregado grueso en la mezcla el porcentaje alcanzado correspondió a 0,343 m³ (considerando el aporte del volumen del agregado de 16 mm y 12, 5 mm en la condición seca) o lo equivalente a un porcentaje de 34,3% del total de la mezcla, si se tratará de 1 m³. Este porcentaje se encuentra por encima de los valores que típicamente se encuentra en mezclas de concreto autocompactable.

La cantidad de pasta considerada en el diseño de mezcla fue de 0,34 m³ (correspondiente a la suma de los volúmenes del cemento con el agua) o un 34% del volumen total de la mezcla si se tratará de 1 m³. Comparándolo con los valores recomendados del ACI237R,



se cuenta con un valor cercano al límite inferior de lo que es recomendable encontrar en mezclas de concreto autocompactable.

A partir de los resultados evidenciados en la Tabla 16, se puede concluir que las proporciones de los materiales utilizadas en el diseño de mezcla del concreto distan de las propiedades de un concreto autocompactable y corresponden más bien a la consistencia de un concreto convencional fluido. Esto fue corroborado por el Equipo Auditor en sitio durante la ejecución del proyecto ya que no se llegaba alcanzar la consolidación del concreto y se producía la segregación del material.

Adicionalmente, en relación con las propiedades de los materiales consideradas en el diseño de mezcla del concreto autocompactable, se debe indicar respecto al uso de los aditivos, que su función y tasa de dosificación no es clara en el diseño respecto a las fichas técnicas del material.

Por ejemplo, en el caso del aditivo “Plastiment liquid” de Sika, en el diseño de mezcla se indica que su función es actuar como reductor de agua dentro del material, mientras que en la ficha técnica del producto se declara que la función es retardar, ya que cumple con lo establecido en la norma ASTM D494 para aditivos tipo D. Por lo que para el diseño de mezcla del concreto autocompactable del proyecto, no queda clara su función de reductor de agua, pues no se observan resultados de los diseños de mezcla mostrando una reducción del contenido de agua de diseño a partir de una dosis constante del aditivo.

En el caso del aditivo “Viscoflow 10” de Sika, la dosificación mostrada en el diseño de mezcla fue menor que los rangos de dosificación del aditivo de la ficha técnica. La ficha técnica del aditivo indica que cumple con lo establecido en la norma ASTM D494 para aditivos tipo D (reductor de agua y retardante) y con la norma ASTM C1017 para aditivos tipo I (plastificantes y reductores de alto rango). Este aditivo podría inducir la característica al concreto autocompactable de fluir más fácilmente; sin embargo, el diseñador propuso una dosificación menor a lo recomendado por el fabricante.

Por lo tanto, en el diseño de mezcla presentado por la Administración, no queda clara la función de los aditivos como agentes plastificantes y reductores de alto rango, pues no se observan resultados de varios diseños de mezcla mostrando una reducción del contenido de agua de diseño y una fluidez del concreto manteniendo la dosis del aditivo constante.

Por último, se debe mencionar que en la revisión del contenido del diseño 40-002-2019, no fue posible evidenciar la ejecución de los ensayos para determinar las propiedades más significativas del concreto autocompactable según el Manual ACI 237R, los cuales se enumeran a continuación:

- Ensayo de flujo de asentamiento (ASTM C1611): con este ensayo se puede determinar el grado de fluidez, la habilidad de relleno y la estabilidad de la mezcla.
- Ensayo de anillo J (ASTM C1621): con este método, se puede determinar la habilidad de paso de la mezcla.



- Ensayo de la columna (ASTM C1610): este ensayo permite verificar la estabilidad de una mezcla de concreto autocompactante mediante la cuantificación de la segregación del agregado.
- Ensayo de resistencia a la segregación (ASTM C1712): con este método se determina la resistencia a la segregación de la mezcla, realizando la medición de la penetración del concreto.

Por lo tanto, las evidencias presentadas en esta observación permiten concluir que el diseño del concreto autocompactable no se ajustó a los parámetros y ensayos mínimos que deben realizarse para este tipo de concretos según el Manual ACI 237R.

Por otro lado, las características y dosificaciones del concreto presentado en el informe 40-002-2019, asocian el material propuesto a un concreto convencional fluido y no a un concreto autocompactable. Esto fue corroborado por el Equipo Auditor mediante el monitoreo del desempeño del material durante su colocación, ya que se observó segregación debido a la falta de consolidación del material.

Los señalamientos en esta observación fueron comunicados a la Administración mediante la nota LM-PI-013-2019, a lo cual la Administración brindó respuesta mediante el oficio CSRN32-03.01 2019.

El oficio CSRN32-03.01 2019, señala nuevamente que el proyecto se ajustó a la normativa establecida en el CR2010, y de forma general se resume que la revisión del diseño de mezcla propuesta por el contratista del proyecto permite garantizar el cumplimiento de las especificaciones bajo las cuales se rige la sección 552 Concreto estructural del CR2010 y el comportamiento adecuado del material de modo que no requiera consolidación mecánica. Además, realiza aclaraciones que no fueron contempladas en el documento del diseño de mezcla del concreto autocompactable.

Sobre lo señalado en dicho oficio, es de recibo que la Administración se haya apegado a la CR2010; sin embargo, esto no quiere decir que el diseño de mezcla de concreto no presente errores de concepto en su metodología que hayan generado un desempeño en sitio distinto al señalado por la Administración en su informe. Lo anterior debido a que, si se consideró el uso de un concreto autocompactable, se pudo haber considerado especificaciones especiales para implementar este material al proyecto, como lo dicta la normativa internacional, por lo cual la observación se mantiene. Además, se debe reiterar que el desempeño del material durante su colocación y los defectos evidenciados en los pilotes permiten evidenciar que el material no tuvo el comportamiento descrito por la Administración.



SOBRE LOS MUESTREOS Y ENSAYOS DE LOS MATERIALES

Hallazgo No. 2. Se evidenciaron prácticas y procedimientos que se alejan de lo establecido en la normativa para el correcto muestreo de concreto fresco y medición de sus propiedades.

Durante las visitas al proyecto realizadas en el mes de enero 2019 a los sitios de colocación de concreto estructural para pilotes, se evidenciaron prácticas y procedimientos que se alejan de lo establecido en la normativa para el correcto muestreo de concreto fresco y medición de sus propiedades.

Adicionalmente, se observó que no hay independencia en la toma de datos de los ensayos de concreto fresco por parte del laboratorio de autocontrol y verificación de calidad como consecuencia del intercambio de datos de temperatura, asentamiento y flujo de asentamiento.

Las condiciones anteriormente descritas fueron notificadas a la Administración mediante la nota informe LM-PI-013-2019 del 22 de febrero de 2019. La Unidad Ejecutora contestó mediante oficio UE-DRA-RN32-009-2019-276 (692) del 6 de marzo de 2019, que los ensayos se realizan apegados a las normas establecidas.

Posteriormente en visita realizada el día 28 de abril de 2020, se volvieron a evidenciar irregularidades en los procedimientos de muestreo del concreto correspondiente a la fase 2 de pila 2 del puente sobre el río Toro Amarillo, lo cual fue notificado a la Administración mediante el oficio LM-IC-D-0358-2020.

Se describen a continuación las prácticas evidenciadas por el equipo auditor donde se observaron incumplimientos de acuerdo a los procedimientos establecidos para el muestreo de concreto fresco.

Inadecuado almacenamiento y resguardo de los especímenes para pruebas de resistencia del concreto (ASTM C31)

Se identificaron especímenes de concreto fresco para pruebas de resistencia desprotegidos a la intemperie en la visita realizada el 24 de enero de 2019. Los especímenes de concreto evidenciaban segregación en la mezcla, tal como se observa en la Figura 15, donde el papel de etiqueta del espécimen se muestra humedecido en la parte superior del cilindro.

La condición de los cilindros de concreto a la intemperie evidenciada, va en detrimento a lo establecido en la Nota 6 para la protección contra la pérdida de humedad de los especímenes de la Norma ASTM C31.



Figura 15. Especímenes de concreto sin protección en el puente sobre el río Chirripó, se evidenció segregación en los especímenes, km 125+309. Fecha de la fotografía 24-01-2019.

Fuente: LanammeUCR.

La respuesta de la Administración en el oficio CSRN32-03.01 2019, sobre las condiciones de almacenamiento de especímenes evidenciadas, no modifican los señalamientos realizados por el Equipo Auditor.

Incorrecta medición de la propiedad de asentamiento del concreto fresco para pilotes (INTE 06-02-03; ASTM C143)

Se observó la realización del ensayo para medir el asentamiento del material mediante la norma ASTM C143 dentro de las pruebas de concreto fresco. Lo anterior pese a que el concreto para pilotes fue definido como un concreto autocompactable según se indica en el diseño de mezcla.

Sobre este aspecto, se debe mencionar que la norma ASTM C 143M-15 indica en su nota 2 que *"concretos con asentamientos sobre 230 mm pueden ser no necesariamente cohesivos o el uso de este ensayo puede no tener significado o sentido"* siendo lo correcto usar el "flujo de asentamiento". Por lo tanto, la propiedad de asentamiento para concreto autocompactable bajo el procedimiento la norma ASTM C143, no propicia un resultado de confiabilidad, ya que este parámetro no es medible bajo dicho criterio.

La afirmación anterior se ratifica aún más con el procedimiento de muestreo del concreto estructural de los pilotes del puente sobre el río Corinto, evidenciado por el Equipo Auditor el día 24 de enero de 2019, el cual se observa en la Figura 16.



Mezcla con
segregación

Figura 16. Medición del asentamiento en concreto autocompactante, puente río Corinto, km 50+975. Fecha de la fotografía 24-01-2019.

Fuente: LanammeUCR

Durante la realización del ensayo de asentamiento se identificaron procedimientos inconsistentes con las disposiciones norma ASTM C143, que invalidan el resultado obtenido en estos ensayos, se enlistan algunas de las irregularidades del procedimiento realizado:

- El cono no se levantaba en toda su altura en el tiempo que especifica la norma ASTM C143 y por ello el concreto no fluye completamente.
- No se extraía la varilla completamente de la capa del concreto que estaba apisonando tal como lo indica la norma ASTM C143.
- La placa utilizada para el ensayo de asentamiento no es apropiada, dado que el concreto fluye mucho y puede salir de la superficie de esta. Es por esta misma razón que incluso el técnico coloca el cono en la esquina de la placa obstruyendo el libre fluir del concreto.

Por lo tanto, es criterio del Equipo Auditor que los resultados obtenidos a partir del ensayo de asentamiento, no tendrían validez alguna como parámetros para la aceptación del material.

El oficio CSRN32-03.01 2019, indica que debido al asentamiento medido del concreto la norma es aplicable. Sobre este aspecto, se reitera que las condiciones observadas por el Equipo Auditor, en el que concreto fluía por la placa hasta salirse de la misma, son evidencia de que debió considerarse otro método de ensayo para la medición del flujo de asentamiento del concreto autocompactable.

Incumplimiento en el equipo y secuencia del procedimiento de medición del flujo de asentamiento (ASTM C1611)

Durante la realización del ensayo del flujo de asentamiento, se identificó el incumplimiento de las especificaciones de parte del equipo requerido para realizar el ensayo, así como faltas en el procedimiento del ensayo.

Así, por ejemplo, se detectó que la herramienta para el enrasado del concreto no cumplía con lo especificado en la norma ASTM C1611. Además, la tabla para la medición del flujo de asentamiento mostraba exceso de humedad.

Por otra parte, referente al procedimiento de ensayo, no se cumplió la secuencia de levantar el cono los $225 \text{ mm} \pm 75 \text{ mm}$ en los $3 \text{ s} \pm 1$ según lo indicado en la norma ASTM C1611. Esta situación evita el flujo completo del concreto y brinda un dato erróneo del flujo de asentamiento del concreto. Lo anterior se ejemplificó con la acumulación de concreto en el centro evidenciando que el concreto no fluyó completamente ni de la manera adecuada, tal como se observa en la Figura 17.



Figura 17. Medición del flujo de asentamiento en el puente río Toro Amarillo, km 50+975.
Fecha de la fotografía 24-01-2019.
Fuente: LanammeUCR

Incumplimientos en el procedimiento establecido para la medición de la temperatura (INTE C43, ASTM C1064).

Se observaron inconsistencias en la técnica empleada por el laboratorio de verificación de calidad para la medición de la temperatura del concreto estructural de los pilotes sobre el río Toro, el día 24 de enero de 2019, esto de acuerdo con procedimientos indicado en la norma INTE C43 (ASTM C1064).

El Equipo Auditor observó que, durante la realización del ensayo, el técnico encargado no selló el agujero que se forma al introducirse la espiga de la termocupla en el concreto. Tampoco había certeza que existieran los 75 mm en todo el entorno de la termocupla ya que se tomaban muestras para la realización de otros ensayos cerca del punto de la medición de temperatura (ver Figura 18).

Otro de los aspectos evidenciados fue que no se cumplió con los tiempos establecidos para la ejecución de la prueba. Durante la ejecución del ensayo no se alcanzó el tiempo mínimo de 2 minutos de espera para la estabilización y toma de temperatura del ensayo, por lo que la muestra fue remezclada previo al cumplimiento de ese lapso de tiempo según dicta la

norma. Esta situación se volvió a presentar en una visita realizada el 28 de abril de 2020 lo cual fue notificado mediante oficio LM-IC-D-0358-2020 del 29 de abril de 2020.



Termocupla sin
control metrológico

Figura 18. Medición de la temperatura del concreto fresco en el río Toro, km 59+124.

Fecha de la fotografía 24-01-2018.

Fuente: LanammeUCR

Incumplimientos en el procedimiento establecido para la preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en obra

Se identificaron incumplimientos en la metodología de ensayo adoptada por los laboratorios de calidad en el muestreo realizado el día 21 de enero de 2019 en el puente sobre el río Corinto en relación con lo establecido en la normativa para la preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en obra.

Primeramente, en lo referente a la toma de la muestra para la realización del ensayo, se observó que esta únicamente se tomaba en una única porción al inicio de la descarga, lo cual va en contra de los procedimientos establecidos en la de la norma INTE C17 (ASTM C172) para concreto recién mezclado. Además de esto, la muestra era compartida por los laboratorios de verificación y autocontrol, lo que pone en riesgo la independencia de los laboratorios.

Por otra parte, al ser un concreto autocompactable, la norma aplicable para el moldeo de los especímenes es la norma ASTM C1758 y no se utiliza la varilla para consolidar el concreto. Sin embargo, el laboratorio de verificación de calidad realizó el moldeo de especímenes de 100 mm x 200 mm envarillando el espécimen, de igual manera el laboratorio de autocontrol realizó el moldeo de especímenes de 150 mm x 300 mm y utilizó la misma varilla para consolidar el concreto, tal como se observa en la Figura 19. Tampoco se tenía un control para consolidación de las capas que se estaba realizando ya que no se contaba una guía para garantizar la consolidación de toda la altura de la capa y la penetración de 25 mm en la capa anterior.

Otro de los aspectos contrario a la norma evidenciados por el Equipo Auditor fue que se rellenaron especímenes con el concreto sobrante que se le eliminaba a otro espécimen. Además, se observó que los especímenes se movieron de la superficie donde fueron moldeados.



Figura 19. Fabricación de especímenes de muestreo de concreto, puente río Corinto, km 50+975. Fecha de la fotografía 21-01-2018.

Fuente: LanammeUCR

A manera de conclusión general, se observó una serie de prácticas inadecuadas durante el muestreo del concreto fresco de los pilotes del proyecto. Las prácticas evidenciadas no se apegan a los métodos y procedimientos normalizados para realizar pruebas al concreto en obra, por lo que existieron faltas en relación con el cumplimiento de especificaciones del equipo, tipo y secuencias del procedimiento de ensayo.

Por lo cual se evidencia que existe una escasa rigurosidad por parte de la Administración sobre la correcta ejecución de los ensayos de concreto fresco.

Por otra parte, la realización de los ensayos bajo las condiciones anteriormente descritas, restan validez y confiabilidad a los resultados de los ensayos, ya que los mismos podrían generar datos erróneos de la calidad del material.

Esto a criterio del Equipo Auditor es un aspecto crítico debido a la relevancia de los resultados de estos ensayos para la **aceptación del concreto estructural**,



SOBRE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN EL PROYECTO

Hallazgo No. 3. Los parámetros de temperatura de colocación y resistencia a la compresión se encuentran dentro de los límites especificados salvo casos muy puntuales en las distintas categorías de concreto utilizados en el proyecto. En el caso del asentamiento del concreto se observa en general una gran dispersión.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la revisión de los informes de verificación de la calidad realizados al concreto utilizado a lo largo de la ejecución del proyecto Rehabilitación y Ampliación de la Ruta Nacional 32, efectuados por el Organismo de Verificación (CACISA), de los años 2018, 2019 y 2020. Los datos se dividen en dos categorías, la primera abarca la Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad (km 49 a km 110) y que comprende del río Corinto (Est. 50+982) hasta el río Madre de Dios (Est. 109+665), y la segunda es la Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad (km 110 a km 135), la cual comprende del río Barbilla (115 + 510) hasta río Blanco – Tramo V (145+156).

Concreto con resistencia a la compresión solicitada de 175 kg/cm² de Rama 1

Al analizar los datos de asentamiento de verificación de calidad para el concreto de 175 kg/cm² de la Rama 1, según los datos del laboratorio de verificación de calidad del proyecto se observa mucha variabilidad entre los valores obtenidos, así como numerosas muestras con valores fuera de los límites especificados para este parámetro. (Ver Figura 20).

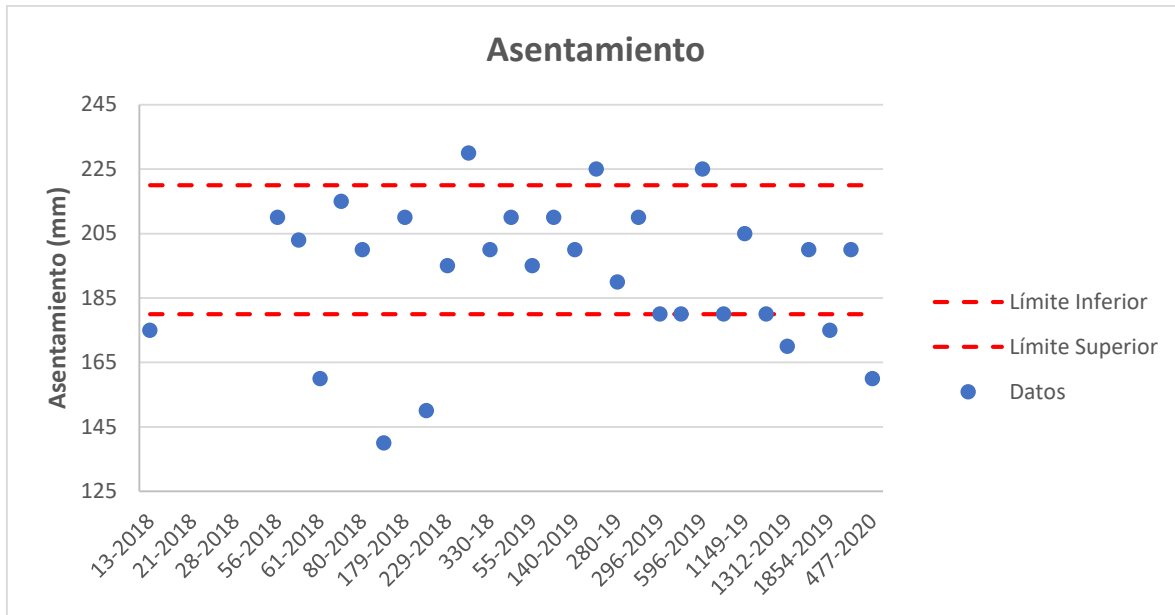


Figura 20. Asentamiento de concreto de 175 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Con respecto a la temperatura de colocación se observa que prácticamente todos los valores analizados se encuentran dentro de los límites especificados, como se puede observar en la Figura 21.

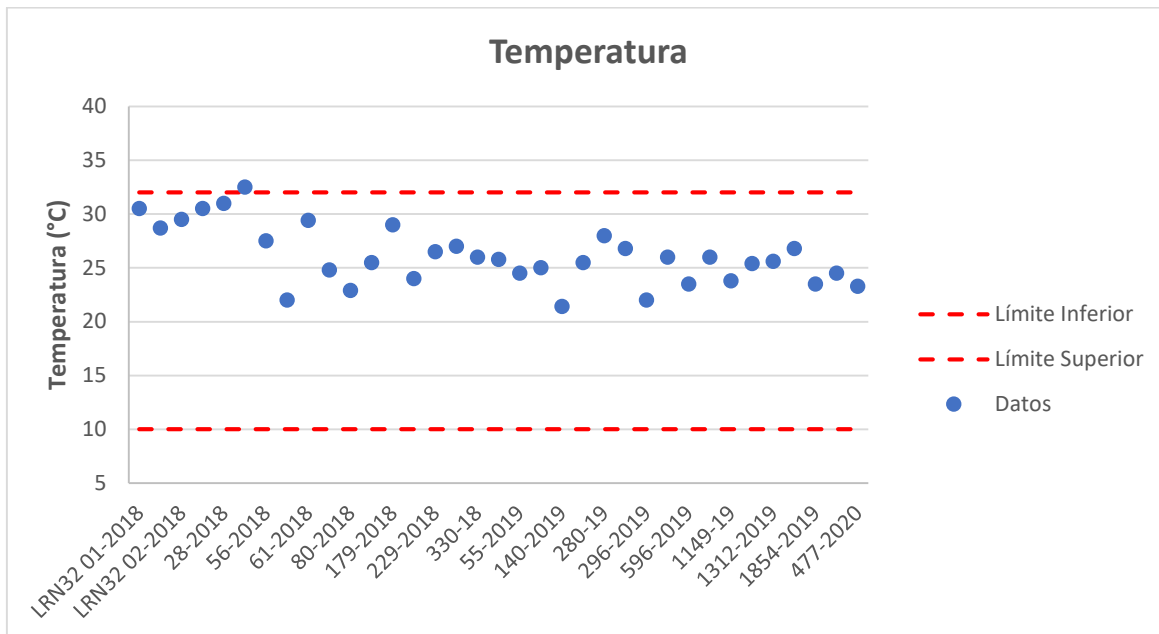


Figura 21. Temperatura de concreto de 175 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Finalmente, con respecto a los valores obtenidos para la resistencia a la compresión a los 28 días, se puede observar que de las muestras evaluadas, todas se encuentran por encima de la resistencia requerida para este concreto. Esto se puede evidenciar en la Figura 22.

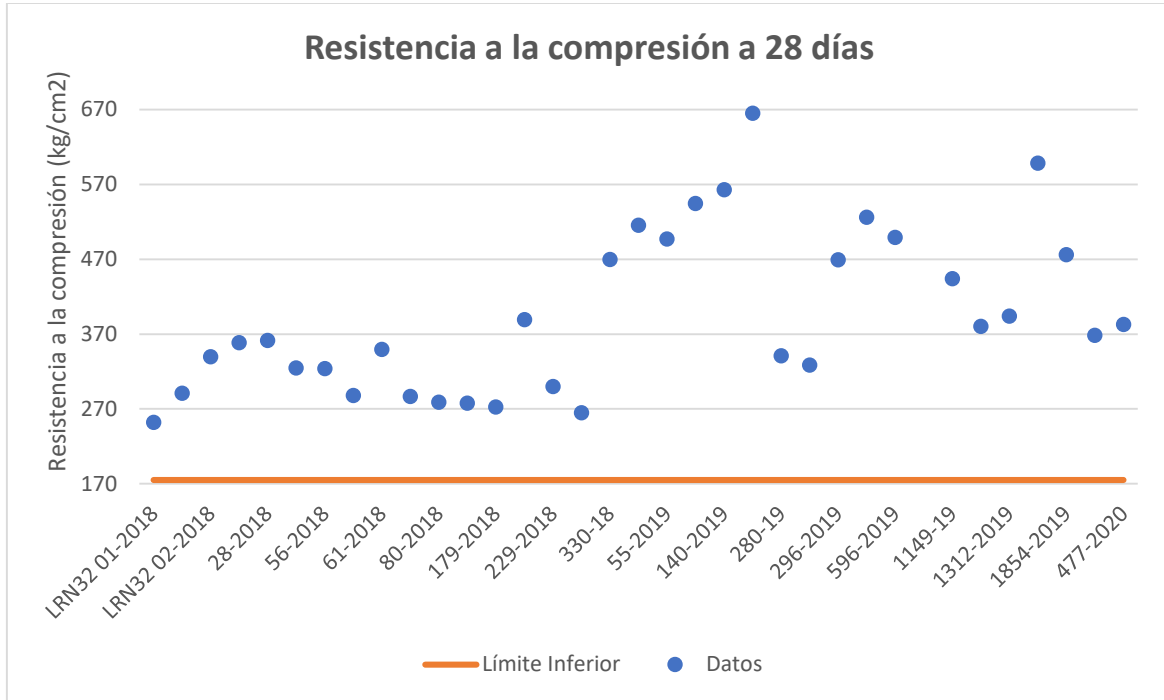


Figura 22. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 175 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Al realizar el análisis estadístico para la resistencia a la compresión, se observa que el porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación es menor al máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido para este material, por lo que el lote analizado cumple (ver Tabla 17). Además, se observa que existe un valor de temperatura fuera de los límites especificados de los 35 analizados. Finalmente se observa que existen 10 datos de 30 analizados que se encuentran fuera de los límites especificados para el asentamiento del concreto. Un asentamiento muy bajo dificulta la trabajabilidad del concreto y puede generar acabados deficientes, facilitando la aparición de nidos de piedra. Por el otro lado, un asentamiento alto genera un concreto susceptible a la segregación.

Tabla 17. Resumen de resistencia a la compresión del concreto de 175 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 175 kg/cm ²	35	3.0%	30.253%	CUMPLE

Para este tipo de concreto el LanammeUCR no tomó muestras durante el proceso de auditoría.

Resistencia a la compresión solicitada de 245 kg/cm² de Rama 1 para alcantarillas y cunetas

Para los datos del concreto de 245 kg/cm² del laboratorio de verificación de calidad, se observa una gran dispersión para los datos de asentamiento como se observa en la Figura 23.

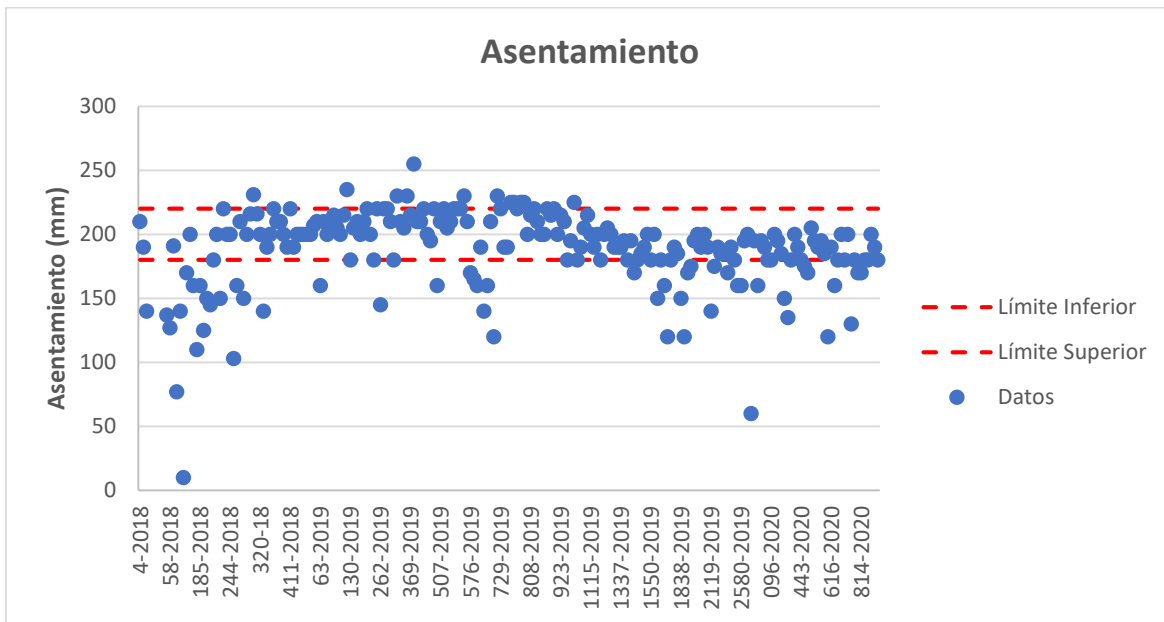


Figura 23. Asentamiento de concreto de 245 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Para la medida de temperatura de colocación, los datos se encuentran en el rango especificado casi en su totalidad para las muestras ensayadas por el laboratorio de verificación de calidad. (Ver Figura 24).

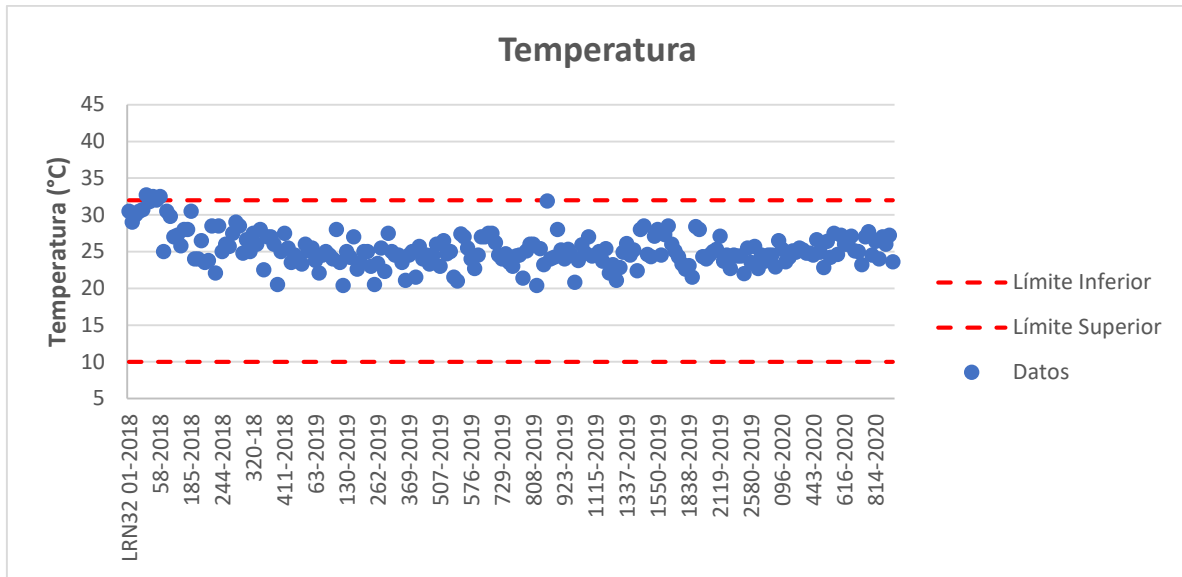


Figura 24. Temperatura de concreto de 245 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

En cuanto a la resistencia a la compresión a los 28 días se evidencia que todos los datos ensayados presentan valores superiores al límite inferior exigido en la especificación (ver Figura 25).

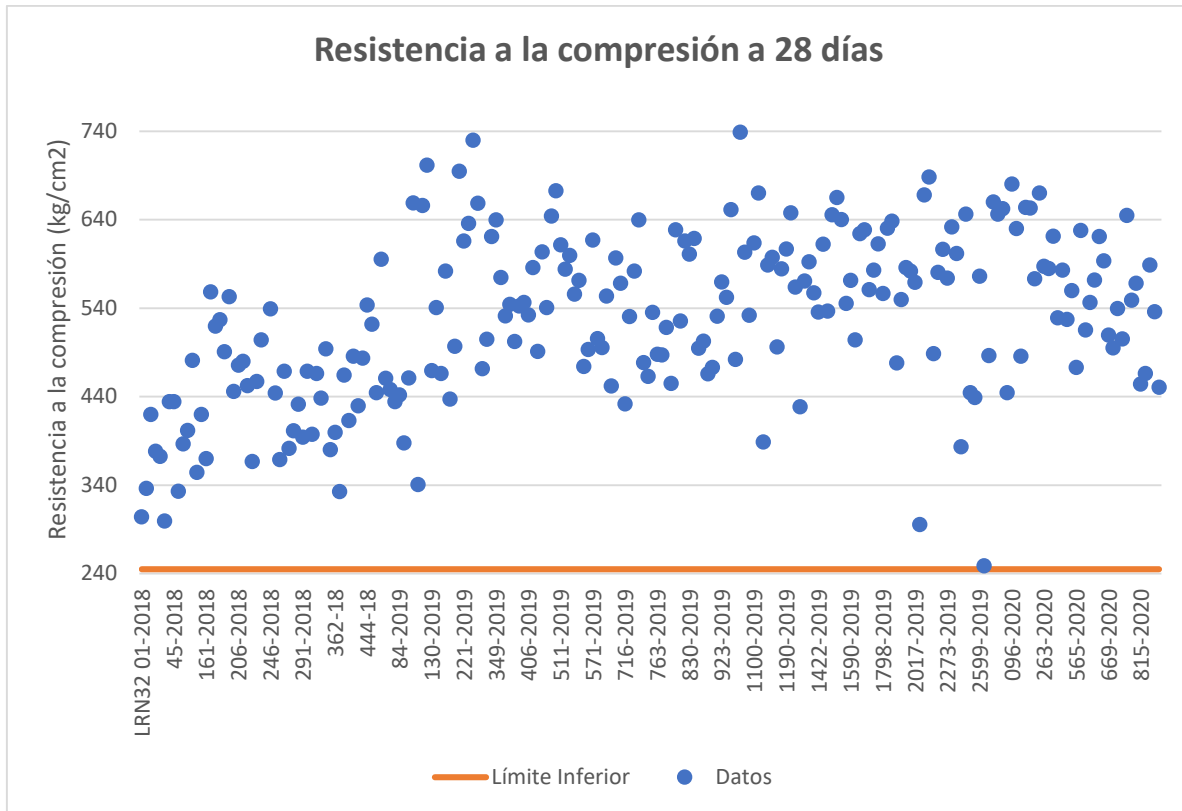


Figura 25. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 245 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Al realizar el análisis estadístico para la resistencia a la compresión presenta un porcentaje fuera de los límites bastante menor al máximo permitido por lo que el material cumple holgadamente.

Tabla 18. Resumen de características analizadas en el concreto de 245 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 245 kg/cm ²	222	0.2%	25%	CUMPLE

Finalmente, los datos muestreados y analizados por el LanammeUCR para esta categoría de concreto se pueden observar en la Tabla 19. Como se puede observar todos los resultados analizados se encuentran dentro de los parámetros analizados para la temperatura de colocación, el asentamiento y la resistencia a la compresión. Debido a que



la cantidad de los datos obtenidos es menor a 5 datos, no se puede realizar el análisis estadístico.

Tabla 19. Datos del LanammeUCR para el concreto de 245 kg/cm² de Rama 1

Informe	Ubicación	Fecha de muestreo	Resistencia Esperada (kg/cm ²)	Temperatura (°C)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm ²)
Límite Inferior				10	180	245
Límite superior				30	220	
I-0123-29	Puente Río Corinto Cabezal Alcantarilla	23/1/2019	245	25,40	210,00	371,00
I-0638-20	km 76, sentido San José- Limón. Cuneta	29/7/2020	245	27,80	170,00	358,00
I-1760-19	Cabezal de Alcantarilla Puente Río Parismina	9/10/2019	245	27,50	100,00	449,00

Concreto con resistencia a la compresión solicitada de 245 kg/cm² en losas de Rama

1

En cuanto a los datos del concreto de 245 kg/cm² utilizado para losas se observa que el asentamiento presenta 16 datos fuera de los límites, del total de 81 datos. Esto se puede observar en la Figura 26.

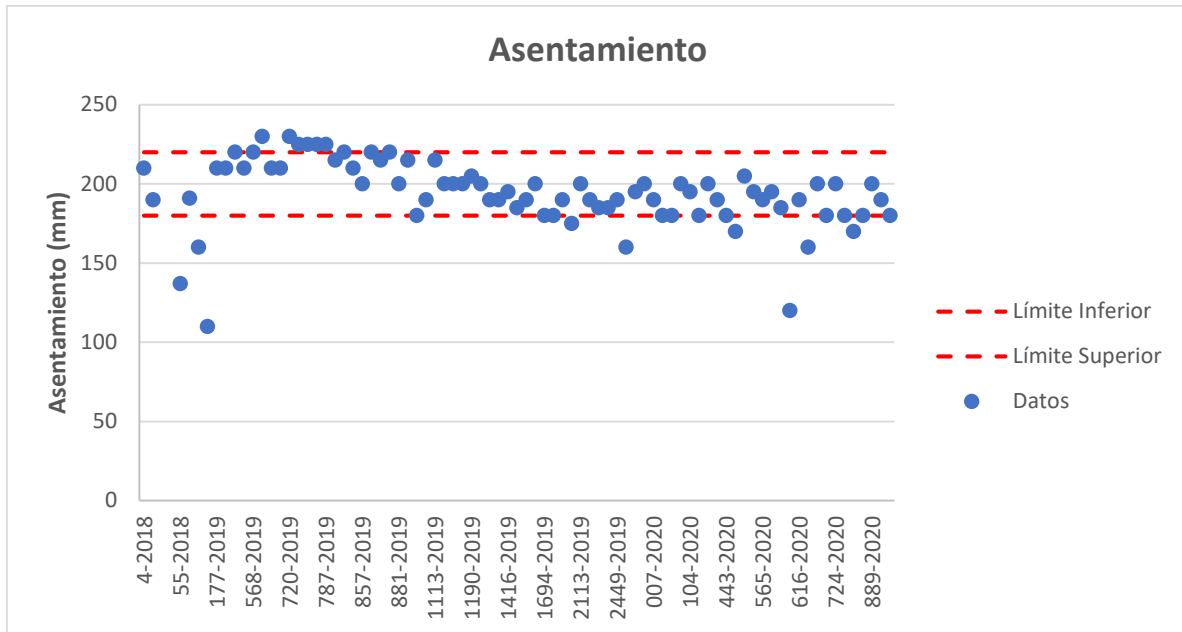


Figura 26. Asentamiento de concreto de 245 kg/cm² de losas de Rama 1 según los datos de verificación de calidad

En cuanto a la temperatura de colocación, se observa al inicio del proyecto que los datos analizados presentan una tendencia a estar por encima del límite permitido; sin embargo, se puede observar en la Figura 27, que conforme ha avanzado el proyecto todos los valores empiezan a encontrarse dentro de los límites permitidos. Existen 5 datos fuera de los límites de un total de 83 datos analizados.

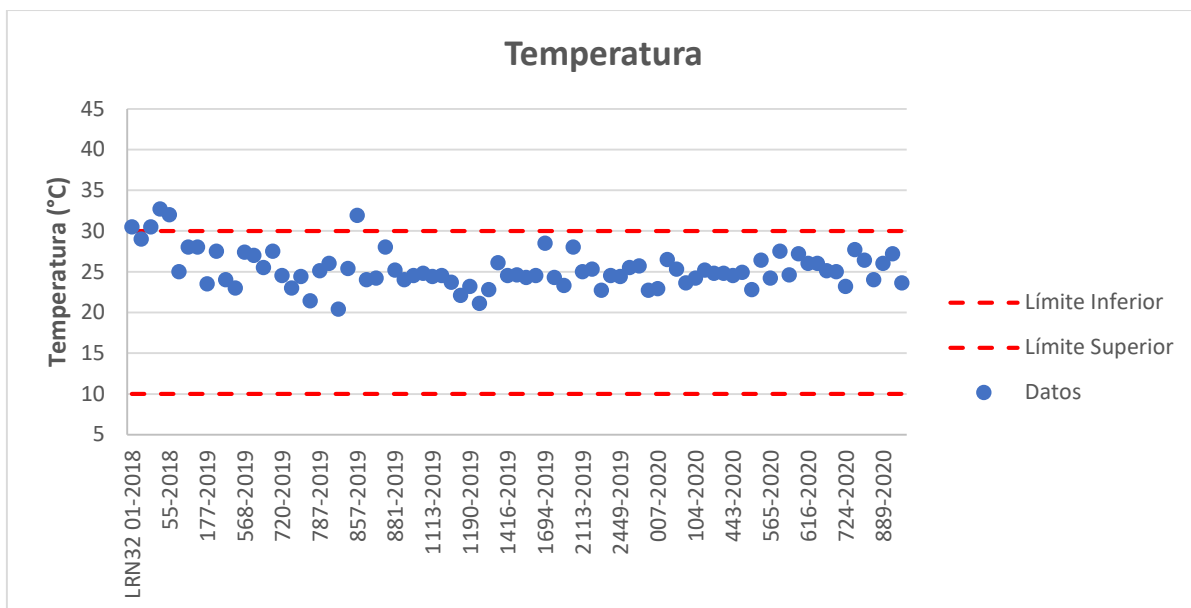


Figura 27. Temperatura de concreto de 245 kg/cm² de Losas de Rama 1 según los datos de verificación de calidad

Con respecto a la resistencia a la compresión el lote analizado no presenta valores por debajo del límite inferior especificado. (Ver Figura 28).

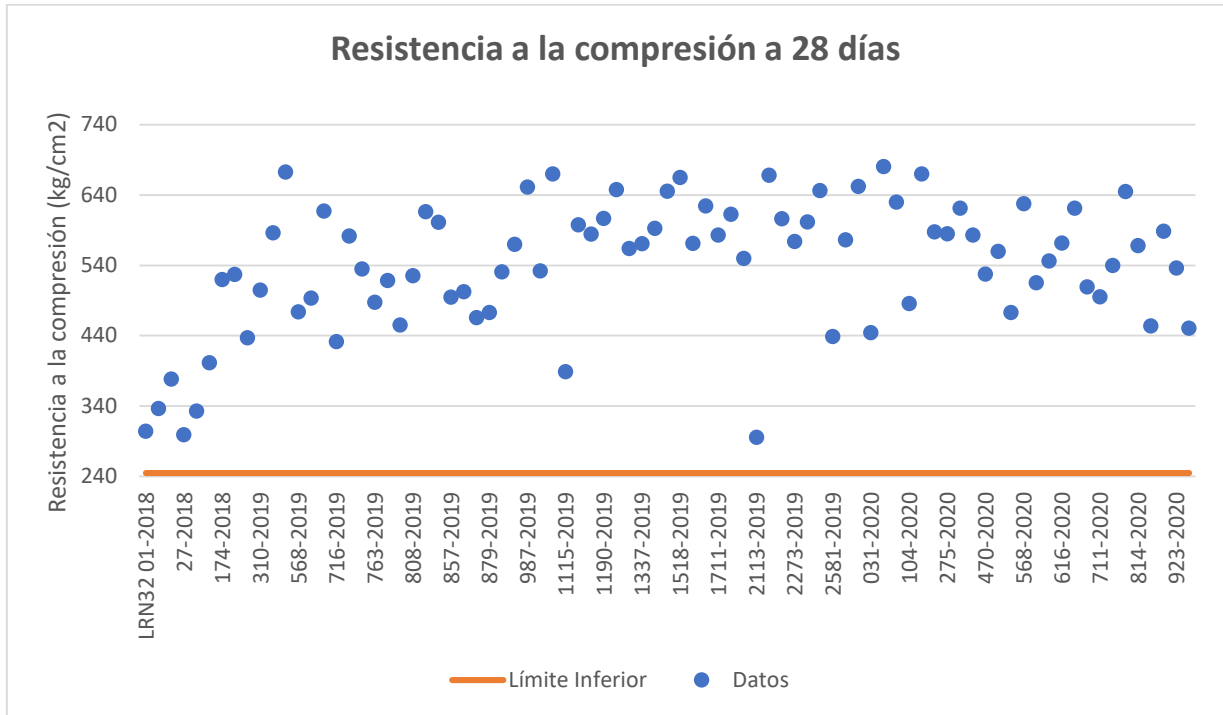


Figura 28. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 245 kg/cm² de losas de Rama 1 según los datos de verificación de calidad

Esto se puede observar también en el análisis estadístico, en el cual se observa que el lote analizado se acepta ya que el porcentaje estimado fuera de los límites es menor al máximo porcentaje permitido, como se observa en la Tabla 20.

Tabla 20. Resumen de características analizadas en el concreto de 245 kg/cm² de losas de Rama 1

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 245 kg/cm ²	83	0.1%	25%	CUMPLE

Para este concreto en particular el LanammeUCR no realizó muestreos.

Concreto con resistencia a la compresión solicitada de 280 kg/cm² de Rama 1

Como se observa en otras categorías de concreto de la Rama 1, según los datos del laboratorio de verificación de calidad, el asentamiento es el parámetro que presenta mayor dispersión de las características analizadas. Los resultados de asentamiento se pueden ver la Figura 29.

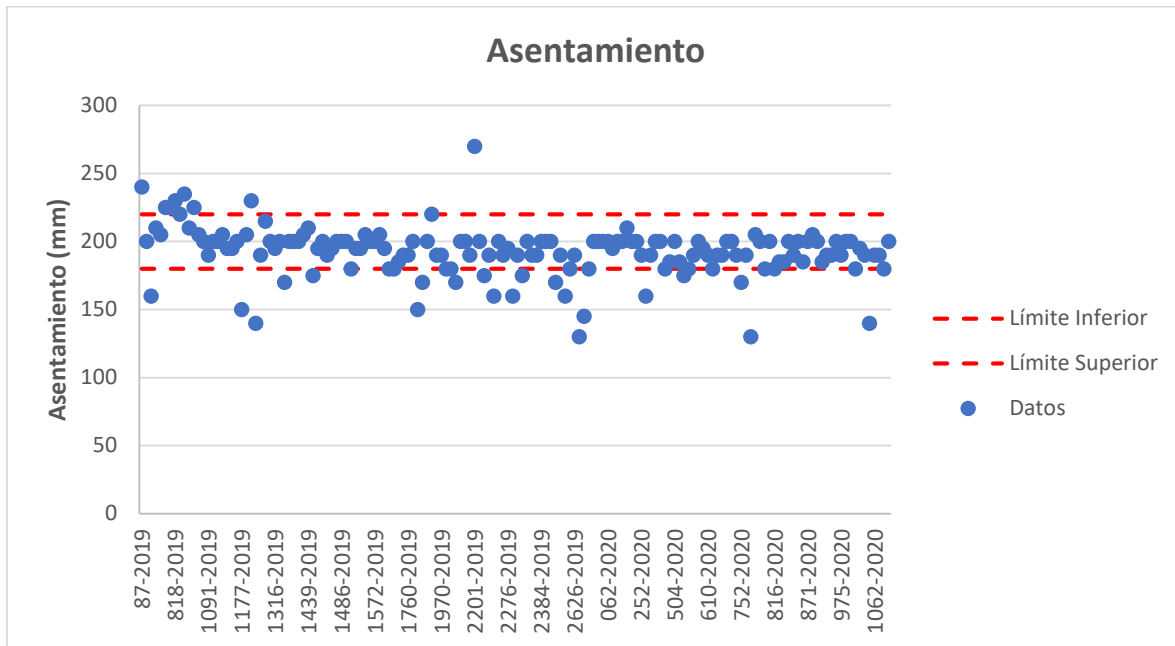


Figura 29. Asentamiento de concreto de 280 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Con respecto a la temperatura de colocación se observa que todos los valores ensayados por el laboratorio de verificación de calidad se encuentran dentro de los límites especificados según el diseño de mezcla (Ver Figura 30).

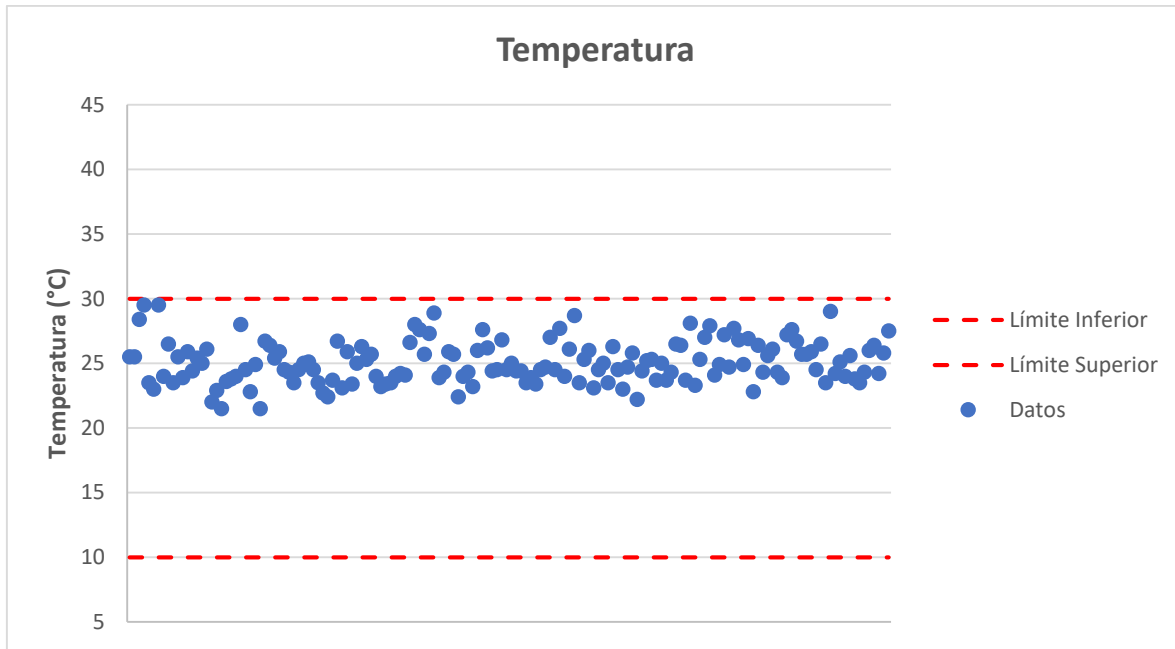


Figura 30. Temperatura de concreto de 280 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Finalmente, con la resistencia a la compresión del concreto de 280 kg/cm² se observa que todas las muestras superan el límite inferior especificado (ver Figura 31).

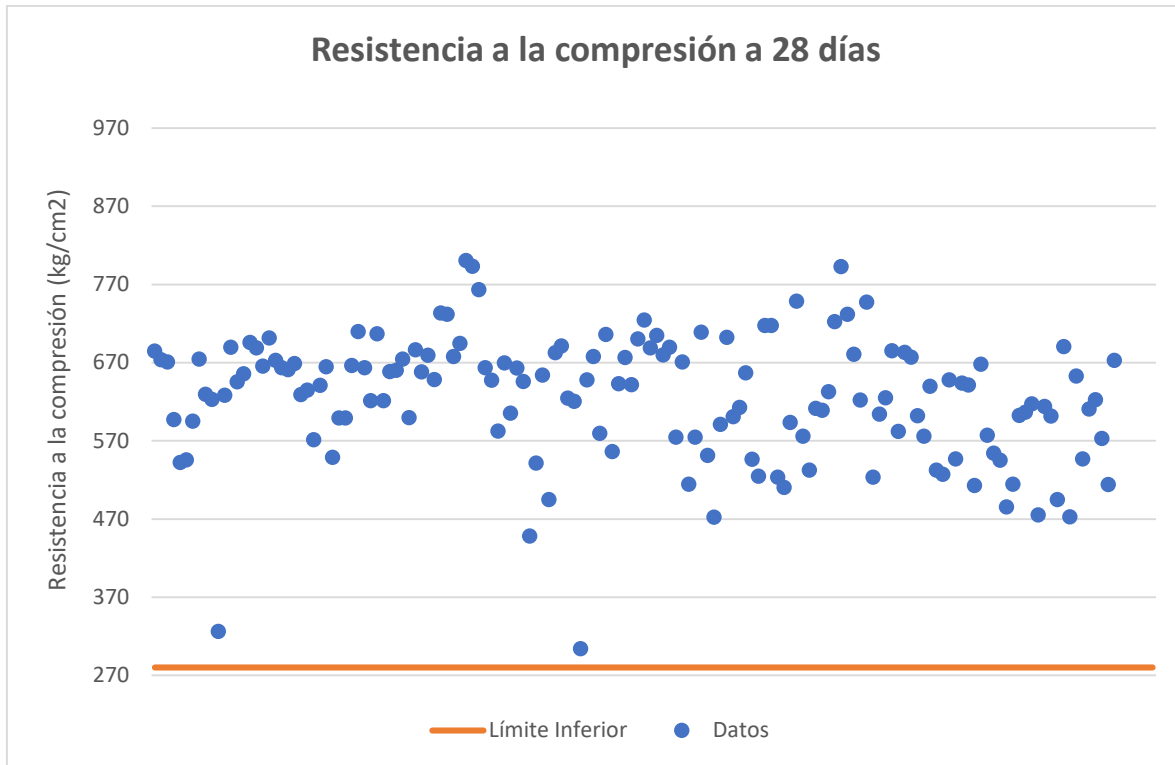


Figura 31. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 280 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Al realizar el análisis estadístico para la resistencia a la compresión como lo indica el CR - 2010, se observa que el lote es aceptado, pues como ya se mencionó, solo un dato presentó un valor fuera del límite inferior exigido. Esto se puede observar en la Tabla 21.

Tabla 21. Resumen de características analizadas en el concreto de 280 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 280 kg/cm ²	152	0.001%	25%	CUMPLE

Con respecto a los datos muestreados y ensayados por el LanammeUCR estos se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Resumen muestras analizadas del concreto de 280 kg/cm² de Rama 1 para pilotes según los datos del LanammeUCR.

Informe	Ubicación	Fecha de muestreo	Temperatura (°C)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm ²)
Límite inferior			10	180	280
Límite superior			30	220	
I-1165-19	Puente Río Pacuare Pila	26/3/2019	27,00	250,00	578
I-1165-19	Puente Río Reventazón	26/3/2019	23,50	250,00	608
I-1165-19	Puente Río Toro Amarillo	28/3/2019	24,50	220,00	499
I-1939-19	Puente Río Parismina Viga Cabezal	31/10/2019	28,00	220,00	593
I-1939-19	Puente Río Parismina Viga Cabezal	31/10/2019	27,60	225,00	521

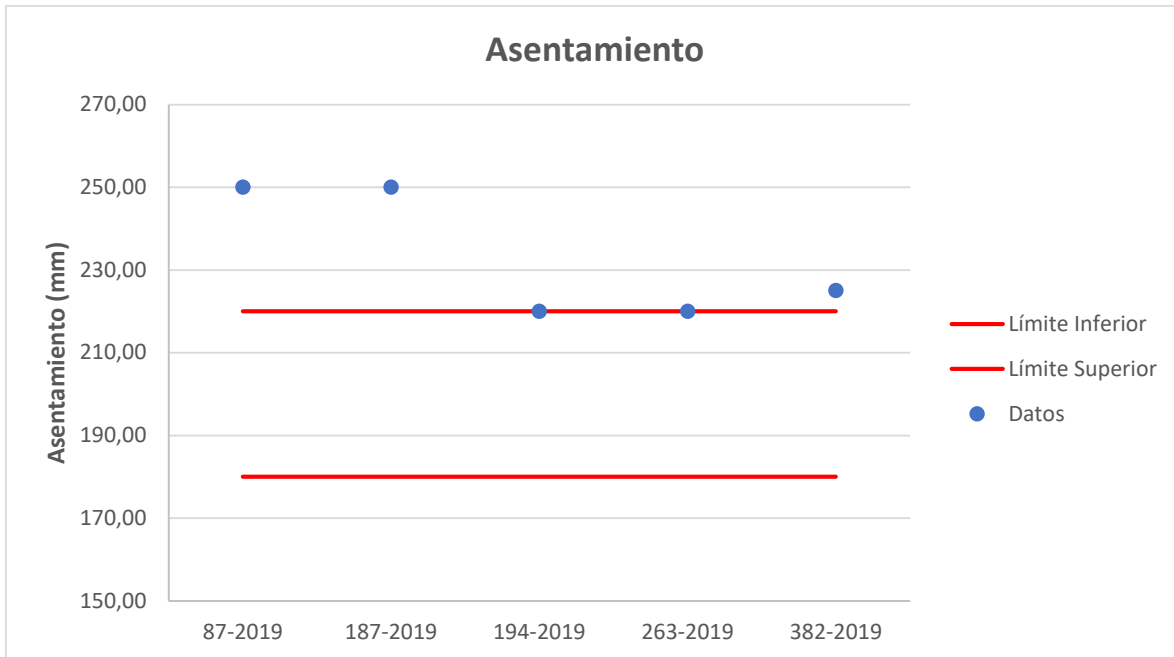


Figura 32. Asentamiento de concreto de 280 kg/cm² de Rama 1 según los datos del LanammeUCR

En la Figura 32 se pueden observar los valores para el asentamiento del concreto. Al igual que con los datos del laboratorio de verificación de calidad, el asentamiento para el concreto de 280 kg/cm² presenta una gran variabilidad para los datos ensayados por el LanammeUCR. Al estar los datos fuera del límite superior permitido, este concreto puede presentar una tendencia a ser susceptible a la segregación.

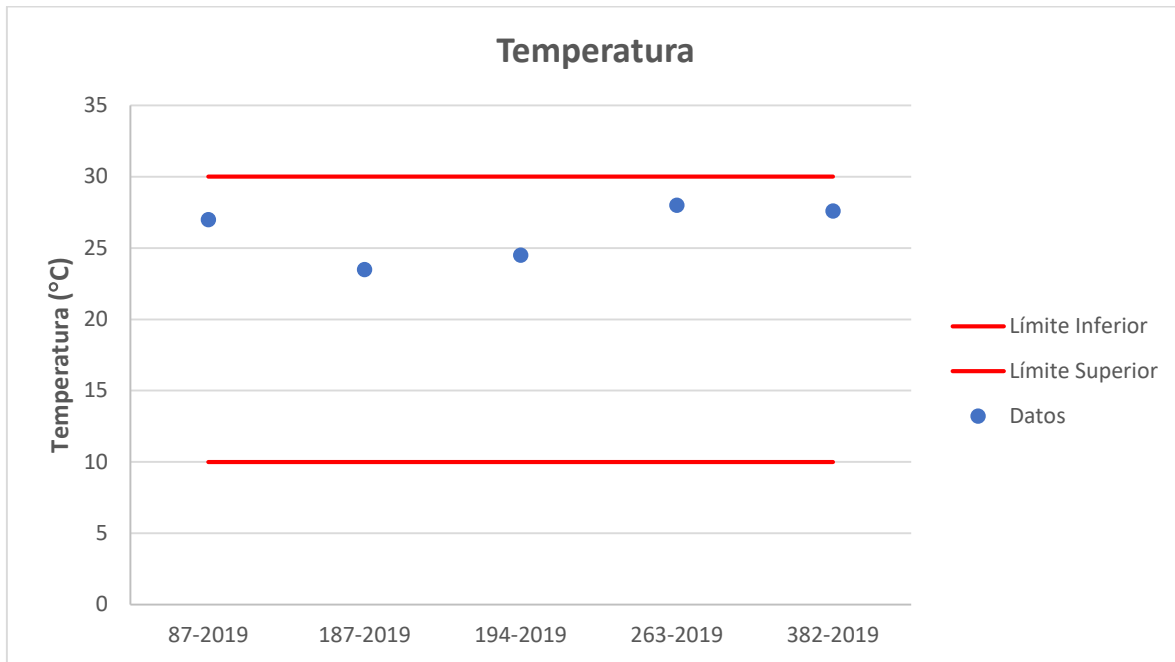


Figura 33. Temperatura de concreto de 280 kg/cm² de Rama 1 según los datos del LanammeUCR

En la Figura 33 se pueden observar los resultados de temperatura de colocación para los datos del LanammeUCR para el concreto de 280 kg/cm² del concreto de Rama 1, en este se observa que todos los datos se encuentran dentro de los límites especificados en el CR-2010.

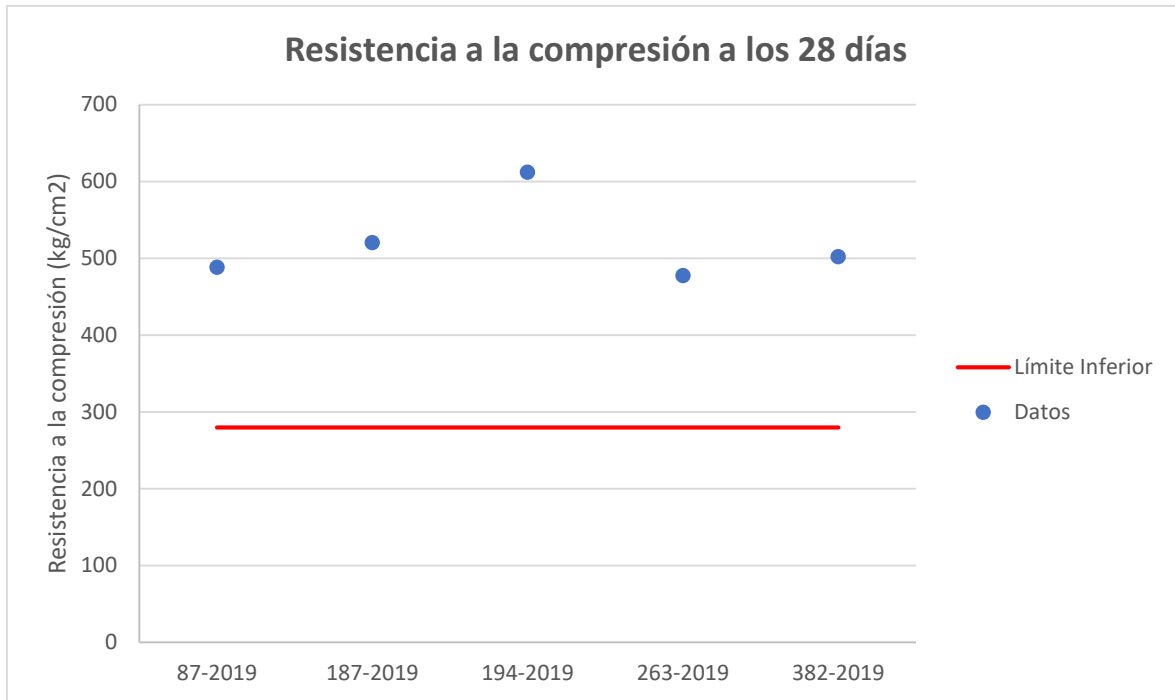


Figura 34. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 280 kg/cm² de Rama 1 según los datos del LanammeUCR

En cuanto a la resistencia a la compresión para esta categoría de concreto, se puede observar en la Figura 34 que los datos ensayados cumplen con la resistencia requerida en la totalidad de los datos.

Al realizar el análisis estadístico, que se puede ver en la Tabla 23, para este parámetro se observa que el lote evaluado se acepta ya que el porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación es menor que el máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido.

Tabla 23. Resumen de características analizadas en el concreto de 280 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de LanammeUCR

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 280 kg/cm ²	5	0,558%	45,000%	CUMPLE

Concreto con resistencia a la compresión solicitada de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 1

En Rama 1, a pesar de que el concreto para pilotes debe cumplir los mismos valores que el concreto de 280 kg/cm² se realizó un análisis independiente ya que son poblaciones distintas y se hicieron diseños de mezcla diferentes para cada uno.

En cuanto al asentamiento, se observa en la Figura 35 una dispersión alta como se ha venido dando en los diferentes concretos analizados, en este también se observa que conforme ha avanzado el proyecto más datos tienden a estar dentro de los límites por lo que se observa una mejoría en los valores obtenidos por el laboratorio de verificación de calidad. Sin embargo, para este parámetro, de los 255 datos evaluados 99 se encuentran fuera de los límites, casi en su totalidad por encima del límite superior, lo cual puede generar un concreto más susceptible a la segregación.

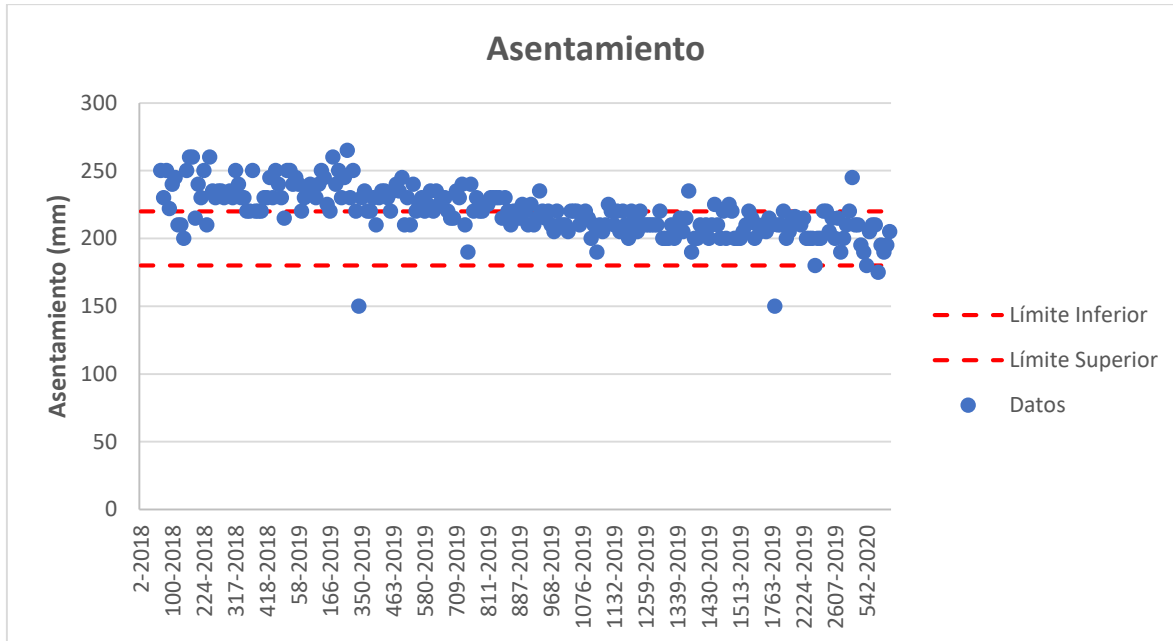


Figura 35. Asentamiento de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

En cuanto a temperatura de colocación se observa que los datos se encuentren dentro de los límites solicitados por el CR-2010 (Ver Figura 36).

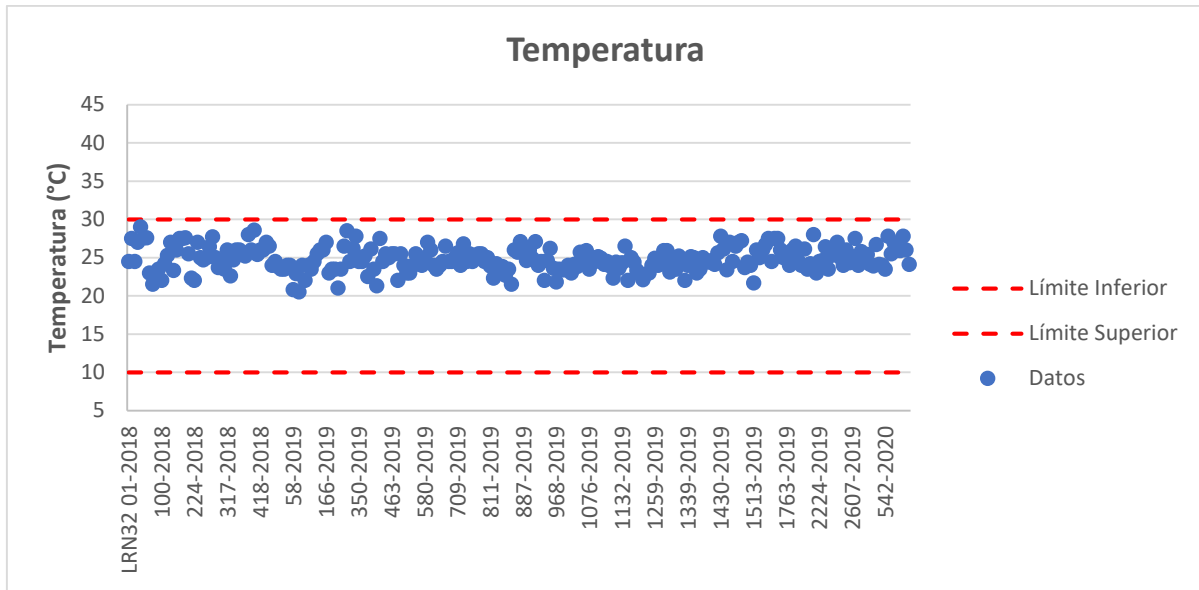


Figura 36. Temperatura de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Con respecto a la resistencia a la compresión a los 28 días, se observa que un dato está por debajo de los límites permitidos de un total de 260 datos analizados (ver Figura 37).

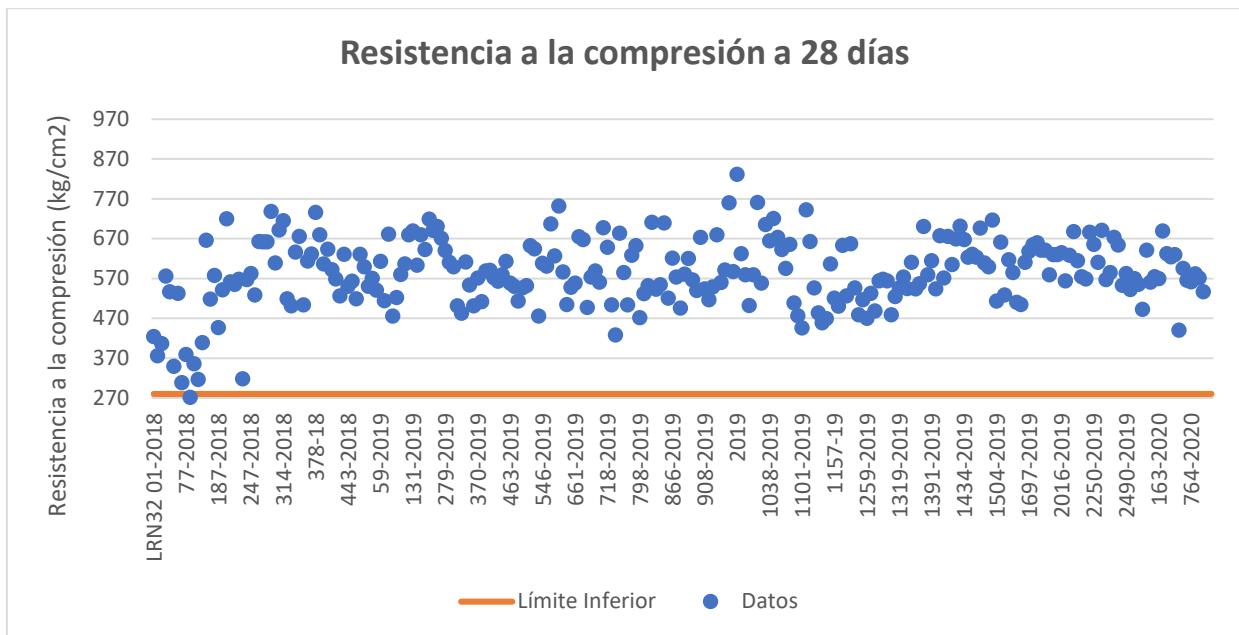


Figura 37. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Al realizar el análisis estadístico para la resistencia a la compresión, se observa que el lote se acepta ya que el porcentaje fuera de los límites es menor al máximo porcentaje permitido para esta característica (ver Tabla 24).

Tabla 24. Resumen de características analizadas en el concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad.

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 280 kg/cm ²	260	0.001%	28.182%	CUMPLE

Con respecto a esta categoría de concreto, el LanammeUCR tomó un total de 21 muestras de concreto. Las muestras se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Resumen muestras analizadas del concreto de 280 kg/cm² de Rama 1 para pilotes según los datos del LanammeUCR.

Informe	Ubicación	Fecha de muestreo	Temperatura (°C)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm ²)
Límite inferior			10	180	280
Límite superior			30	220	
I-1496-18	Puente Río Corinto, pilote y pila	31/10/2018	-	240,00	391,5
I-1496-18	Puente Río Corinto, bastión y pilote	1/10/2018	22,50	240,00	440,75
I-0033-19	Puente Río Parismina Pilote	10/1/2019	26,50	225,00	509
I-0033-19	Puente Río Parismina Pilote	10/1/2019	26,50	225,00	578
I-0033-19	Puente Río Parismina Pilote	9/1/2019	27,50	-	608
I-0123-19	Puente Río Corinto Pilote	23/1/2019	24,80	-	499
I-0123-19	Puente Río Corinto Pilote	23/1/2019	26,20	235,00	593
I-0123-19	Puente Río Corinto Pilote	23/1/2019	27,00	240,00	521
I-0173-19	Puente Guacimito Pilote	6/2/2019	24,90	250,00	529
I-0173-19	Puente Guacimito Pilote	6/2/2019	23,90	240,00	544



I-0173-19	Puente Guacimito Pilote	27/2/2019	26,90	230,00	585
I-0173-19	Puente Guacimito, Bastión y pilote	28/2/2019	27,00	220,00	566
I-0262-19	Río Jiménez Pilote	14/3/2019	26,90	200,00	519
I-0307-19	Puente Río Toro Amarillo Pilote	27/3/2019	25,30	225,00	492
I-1164-19	Puente Río Pacuare Pilote	12/3/2019	27,50	220,00	380
I-1164-19	Puente Río Toro Amarillo Bastión y pilote	12/3/2019	24,80	220,00	530
I-1164-19	Puente Río Toro Amarillo Bastión y pilote	13/3/2019	25,70	235,00	458
I-1220-19	Puente Río Toro Amarillo Pilote y Pila	23/4/2019	24,10	255,00	581
I-1220-19	Puente Río Pacuare Pilote y pila	23/4/2019	24,80	240,00	426
I-1243-19	Puente Río Dos Novillos Pilote	5/7/2019	26,50	220,00	465
I-1760-19	Puente Río Hondo Pilote	9/10/2019	28,70	230,00	425

En cuanto al asentamiento se observa en la Figura 38 que la mayoría de los datos analizados (14 de 21), se encuentran fuera de los límites especificados en el diseño de mezcla, todos estos presentaron valores superiores a los límites propuestos.

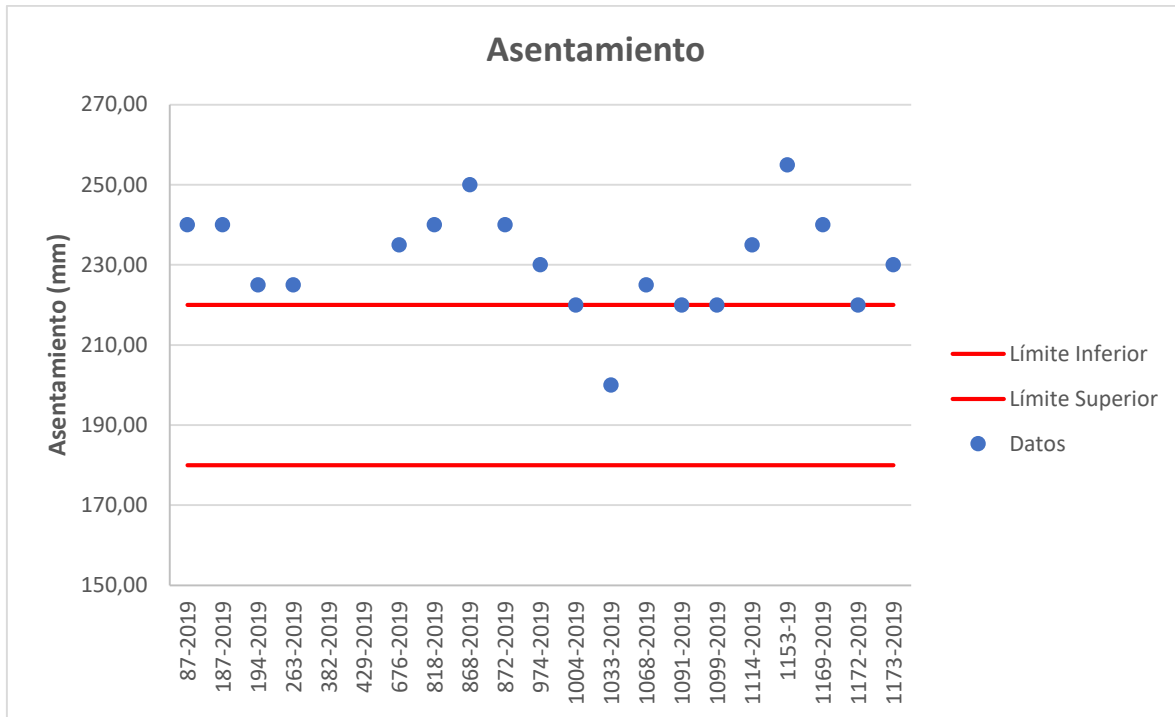


Figura 38. Asentamiento de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 1 según los datos del LanammeUCR

En cuanto a la temperatura de colocación del concreto, se observa que los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites permitidos según el CR-2010 (ver Figura 39).

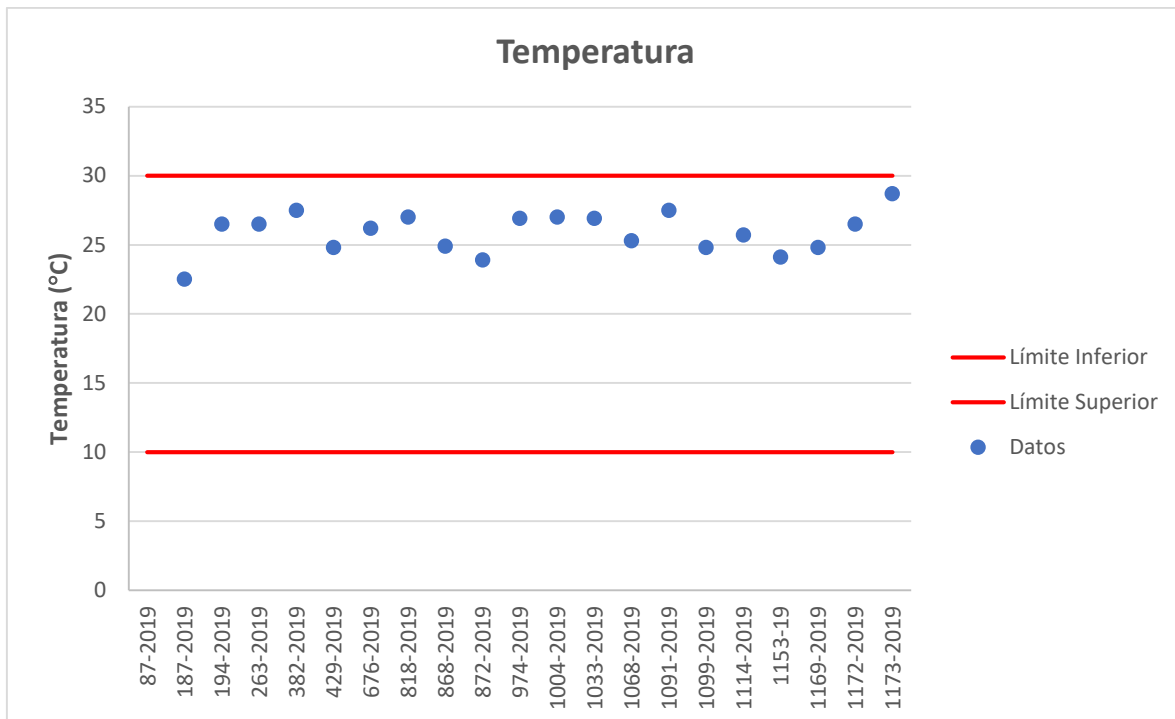


Figura 39. Temperatura de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 1 según los datos del LanammeUCR

Situación similar sucede con la resistencia a la compresión, en la cual, para todos los datos analizados, presenta valores por encima del límite inferior especificado como se puede observar en la Figura 40.

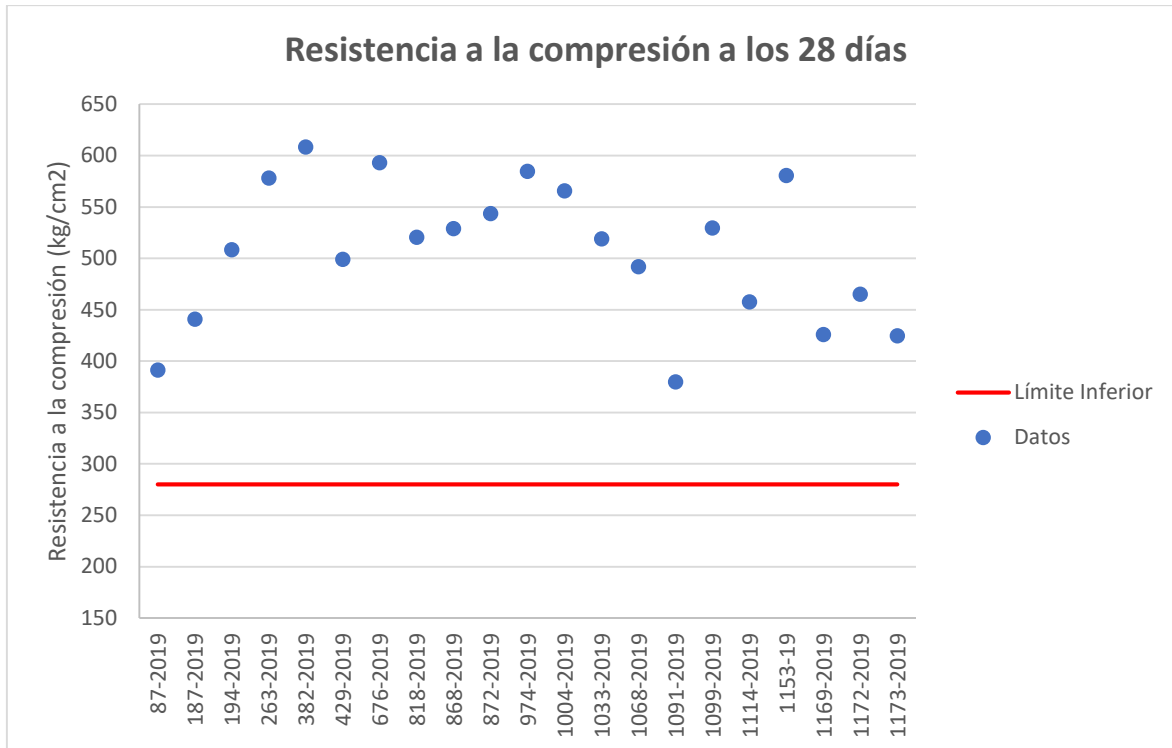


Figura 40. Resistencia a la compresión de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 1 según los datos del LanammeUCR

En cuanto el análisis estadístico para este concreto, como es de esperar, el material se acepta ya que el lote evaluado presenta todos los datos de resistencia a la compresión dentro de los límites (Ver Tabla 26).

Tabla 26. Resumen de características analizadas en el concreto de 400 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad.

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 280 kg/cm ²	21	0,163%	34,124%	CUMPLE

Concreto con resistencia a la compresión solicitada de 400 kg/cm² de Rama 1

Con respecto al concreto de 400 kg/cm² correspondiente a Rama 1 del proyecto, se analizaron los parámetros de asentamiento, temperatura de colocación y resistencia a la compresión. Este concreto es utilizado para la construcción de las vigas principales de los puentes.

En esta categoría se observa un mejor control del asentamiento por parte del contratista, según los datos del laboratorio de verificación de calidad, como se puede observar en la Figura 41. De 50 datos analizados, solamente 6 se encuentran fuera de los límites requeridos.

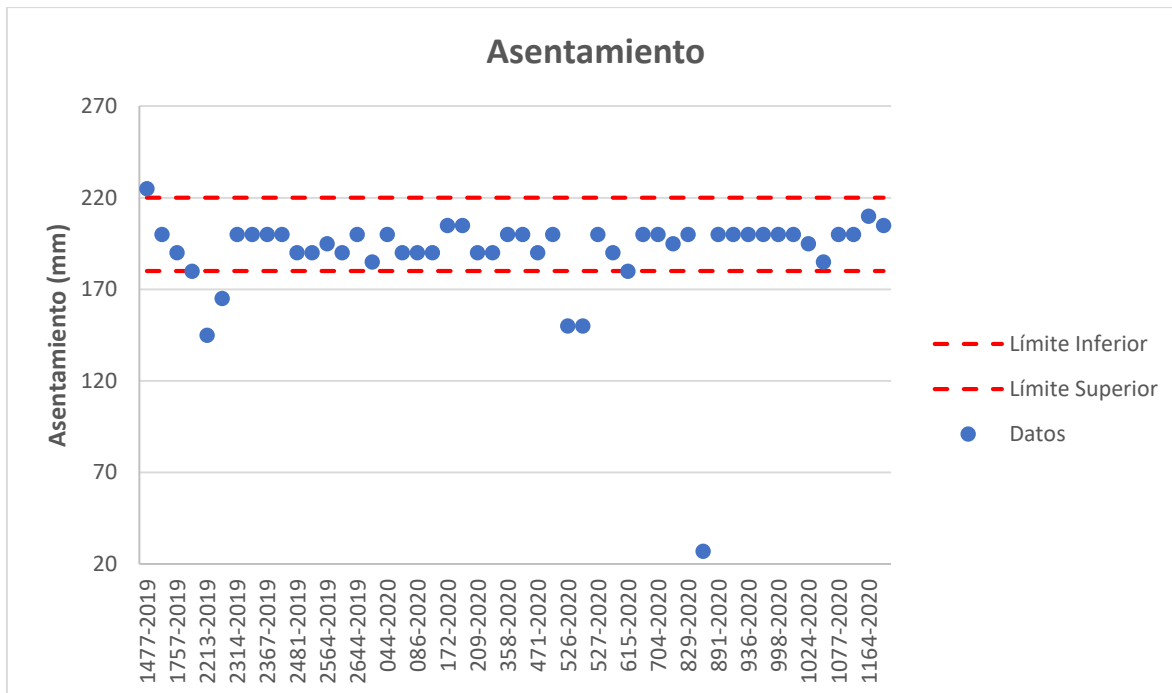


Figura 41. Asentamiento de concreto de 400 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

En el caso de la temperatura de colocación se observa que los valores del concreto también se encuentran dentro de los límites especificados (Ver Figura 42).

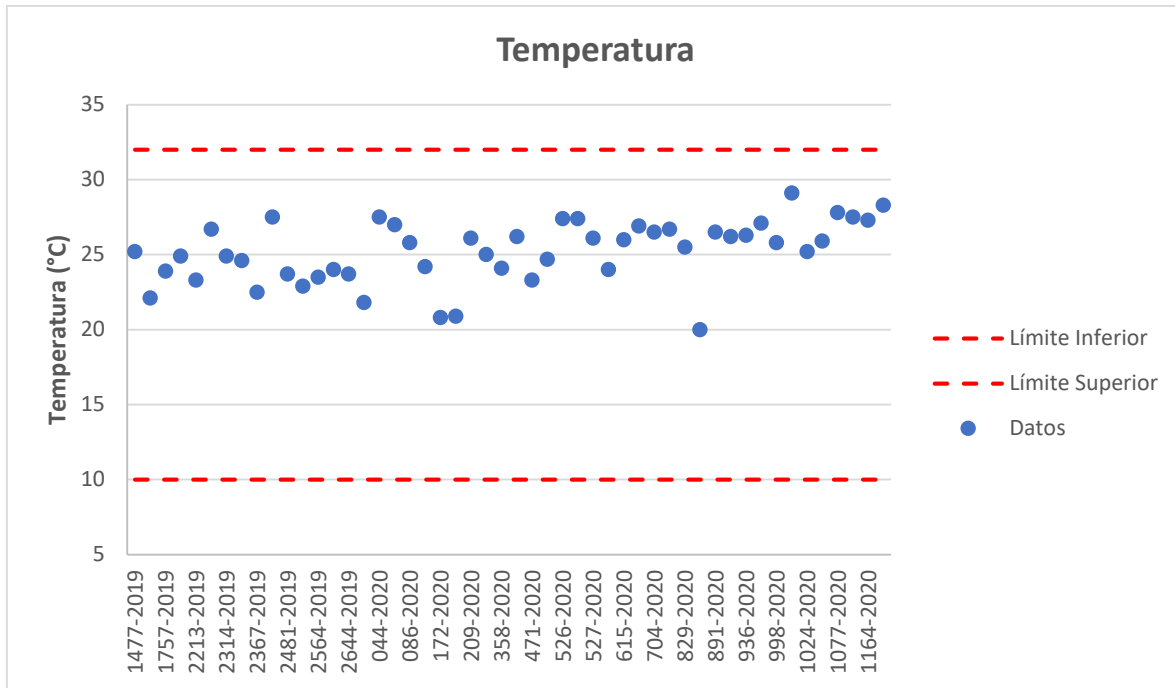


Figura 42. Temperatura de colocación de concreto de 400 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Con respecto a la resistencia a la compresión, se observa en la Figura 43 que los datos ensayados por el laboratorio de verificación de calidad se encuentran por encima del límite superior especificado.

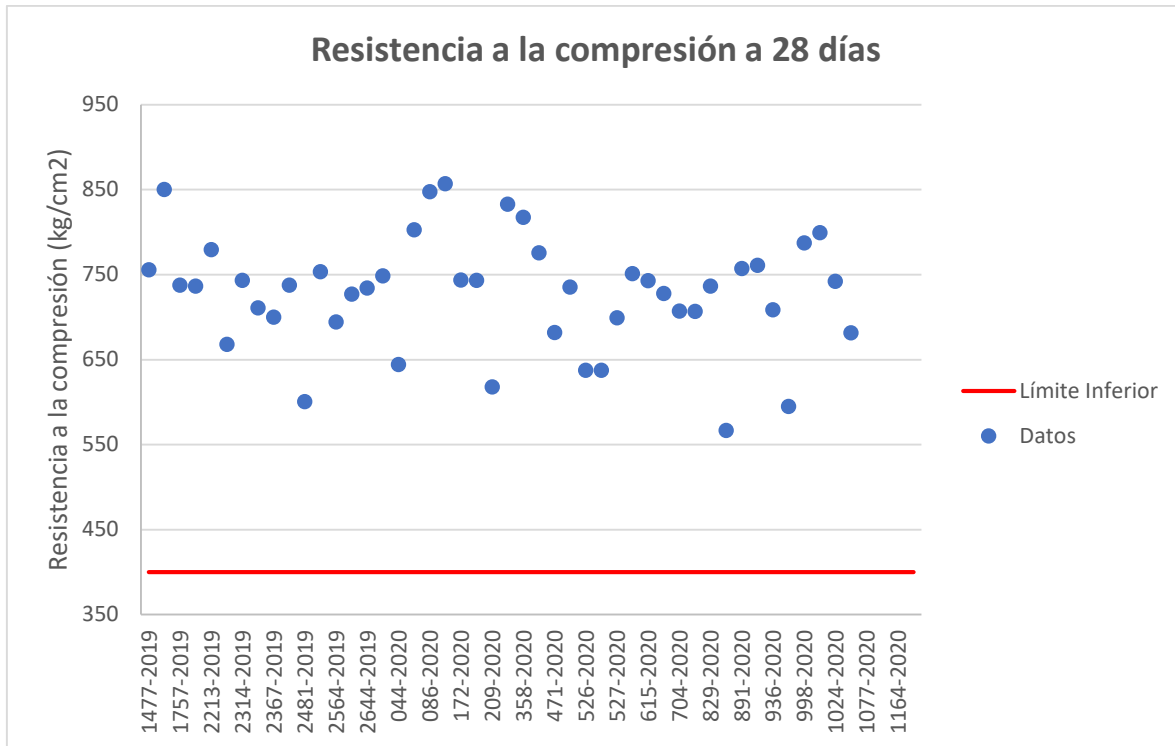


Figura 43. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 400 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad

Al realizar el análisis estadístico se observa que el lote es aceptado debido que el porcentaje estimado fuera de los límites, es inferior al máximo permitido como se puede observar en la Tabla 27.

Tabla 27. Resumen de características analizadas en el concreto de 400 kg/cm² de Rama 1 según los datos del laboratorio de verificación de calidad.

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 400 kg/cm ²	46	0.001%	28.182%	CUMPLE

Para esta categoría de material el LanammeUCR tomó una muestra, la cual se observa en la Tabla 28. Se puede observar un incumplimiento en el asentamiento de la misma, al ser un valor mayor al permitido esta mezcla puede presentar una mayor tendencia a la segregación.

Tabla 28. Resumen muestras analizadas del concreto de 400 kg/cm² de Rama 1 según los datos del LanammeUCR.

Informe	Ubicación	Fecha de muestreo	Resistencia Esperada (kg/cm ²)	Temperatura (°C)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm ²)
Límite inferior				10	160	400
Límite superior				30	200	
I-0638-20	Río Toro Amarillo, Viga de puente	29/7/2020	400	28,80	240,00	666

Concreto con resistencia a la compresión solicitada de 175 kg/cm² de Rama 2

El asentamiento del concreto de 175 kg/cm² de la Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad, presenta al igual que para la Rama 1, una dispersión grande de los datos, principalmente fuera de los límites y con tendencia a estar por encima del límite superior por lo que puede ser susceptible a la segregación (Ver Figura 44).

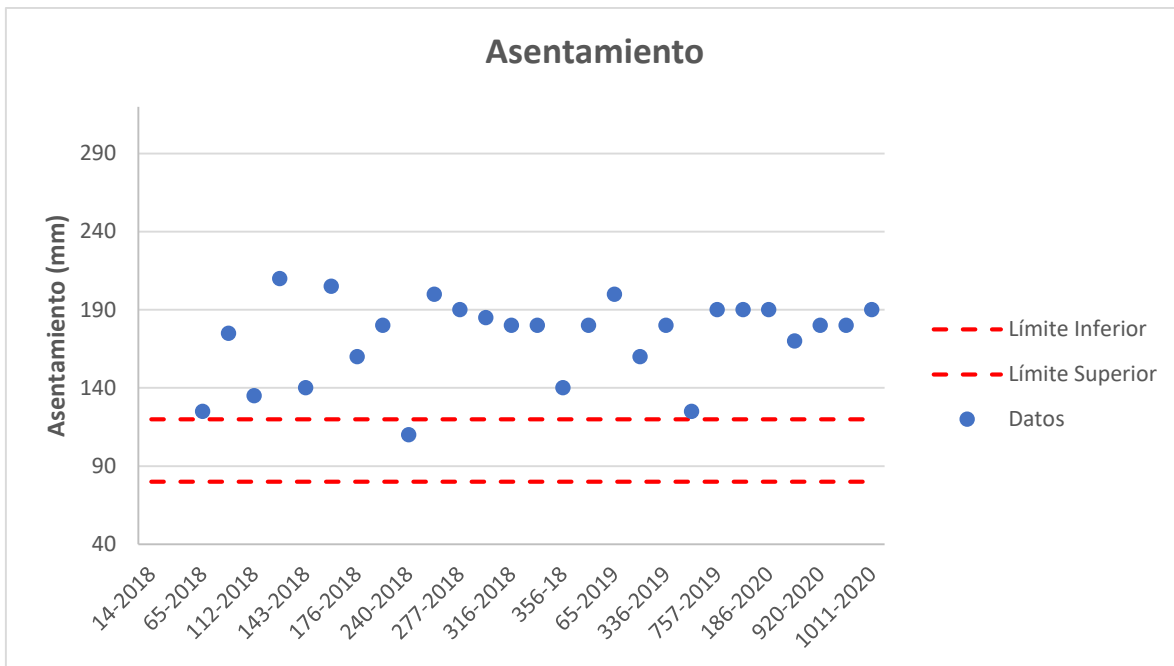


Figura 44. Asentamiento de concreto de 175 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

En cuanto a la temperatura de colocación, se puede observar que los datos para esta categoría de concreto se encuentran dentro de los límites requeridos por el CR-2010, como se puede observar en la Figura 45.

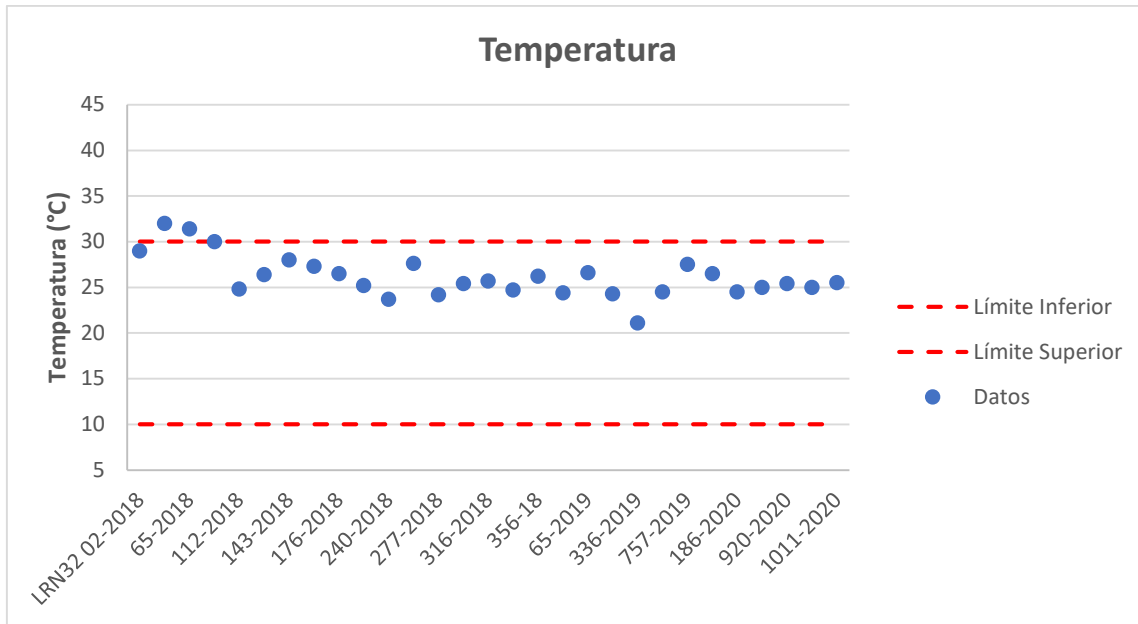


Figura 45. Temperatura de concreto de 175 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

Al igual que como sucede con la temperatura de colocación, la resistencia a la compresión del concreto de 175kg/cm², de acuerdo con los datos analizados por el laboratorio de verificación de calidad, se encuentran dentro de los límites especificados como se puede evidenciar en la Figura 46.

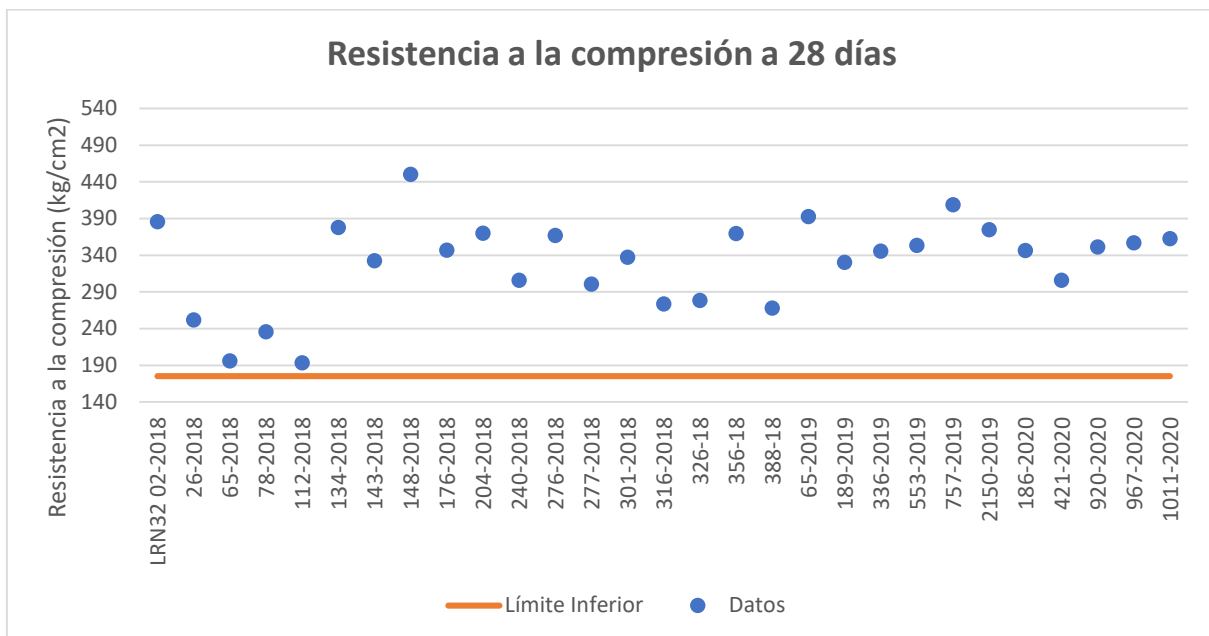


Figura 46. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 175 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

Al realizar el análisis estadístico para la resistencia a la compresión, como es de suponer el lote evaluado es aceptado (Ver Tabla 29).

Tabla 29. Resumen de características analizadas en el concreto de 175 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 175 kg/cm ²	29	0,84%	31,678%	CUMPLE

Para esta categoría de material, el LanammeUCR no tomó muestras en el periodo de la auditoría.

Concreto con resistencia a la compresión solicitada de 245 kg/cm² de Rama 2

Con respecto al concreto de 245 kg/cm² para la Rama 2, se observa que existe una gran dispersión de los datos de asentamiento para esta categoría de concreto (Ver Figura 47). Un total de 27 datos se encuentran fuera de los límites especificados en el diseño de mezcla de un total de 39 datos analizados.

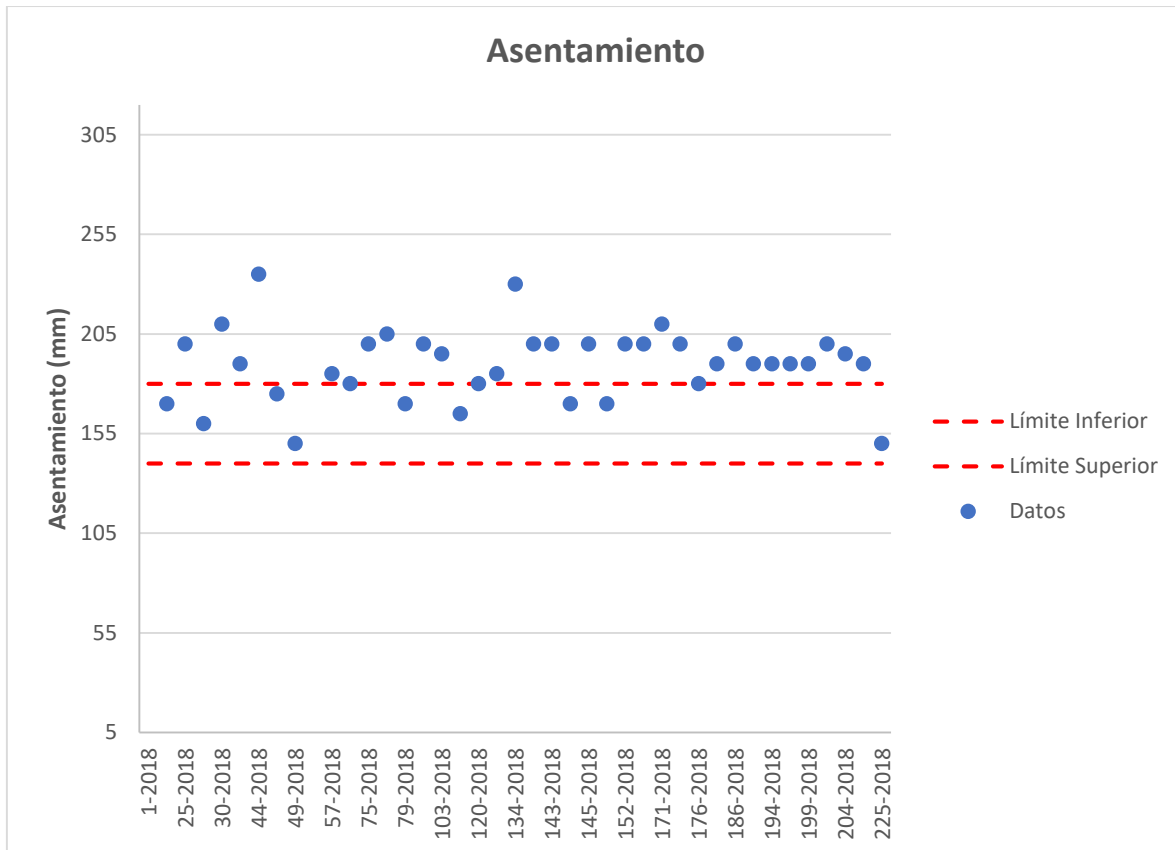


Figura 47. Asentamiento de concreto de 245 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

Con respecto a la temperatura de colocación del concreto, se observa que todos los valores presentados por el laboratorio de verificación de calidad se encuentran dentro de los parámetros solicitados como se observa en la Figura 48.

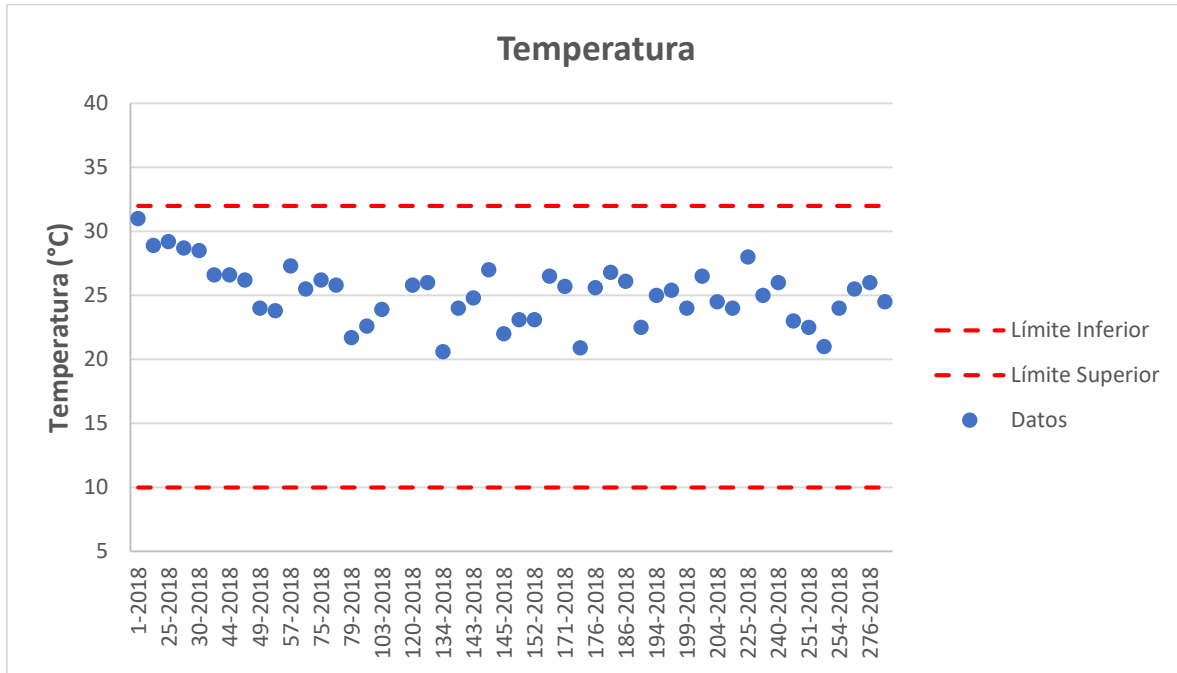


Figura 48. Temperatura de concreto de 245 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

Con respecto a la resistencia a la compresión se puede observar en la Figura 49 que los datos se encuentran dentro de los rangos especificados para el concreto de 245 kg/cm² de la Rama 2.

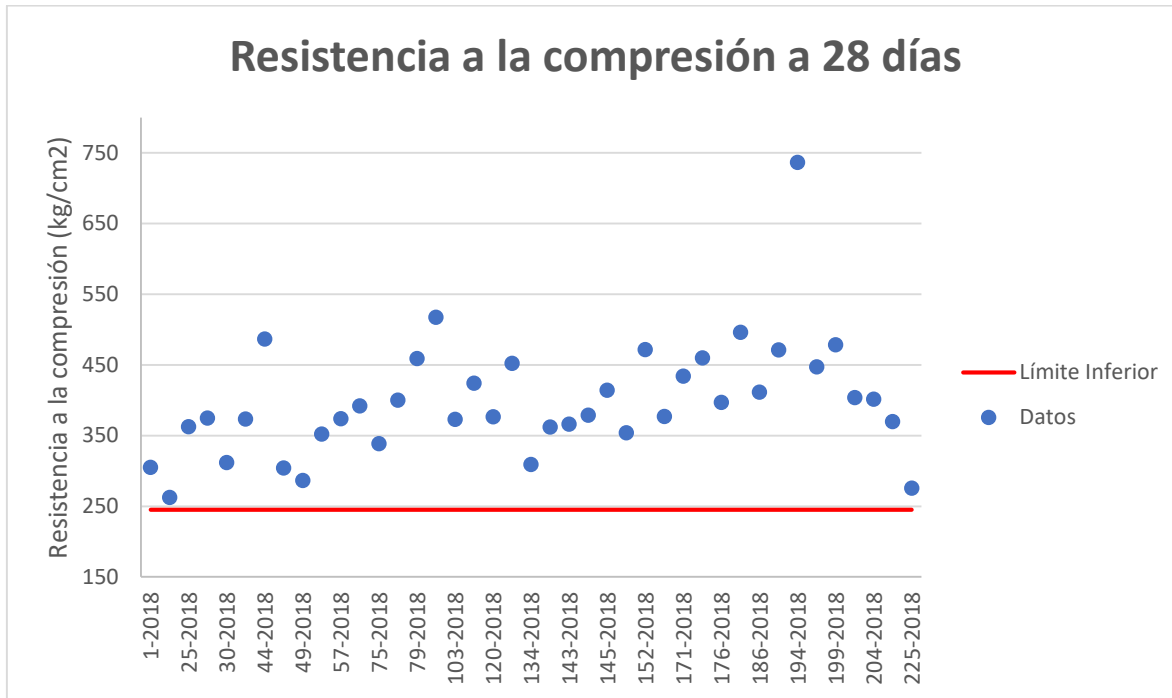


Figura 49. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 245 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

Al realizar el análisis estadístico, se observa que el lote cumple a pesar de este dato que se encuentra fuera de los límites, esto debido a que sólo existe un incumplimiento en una población de 50 datos (Ver Tabla 30).

Tabla 30. Resumen de características analizadas en el concreto de 245 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 245 kg/cm ²	50	3,52%	29,054%	CUMPLE

De esta categoría de concreto, el LanammeUCR no realizó muestreos de concreto por lo que no hay resultados para este concreto.

Concreto con resistencia a la compresión solicitada de 245 kg/cm² de Rama 2 para losas

Esta categoría de concreto es utilizada para losas de concreto de alcantarillas. Al ser para losas, tiene una especificación diferente de temperatura de colocación siendo el límite superior restringido a 30 °C en lugar de 32 °C. Para el asentamiento se observa un comportamiento similar a otros concretos, una tendencia de los valores a estar por encima del límite especificado. Esto se puede observar en la Figura 50.

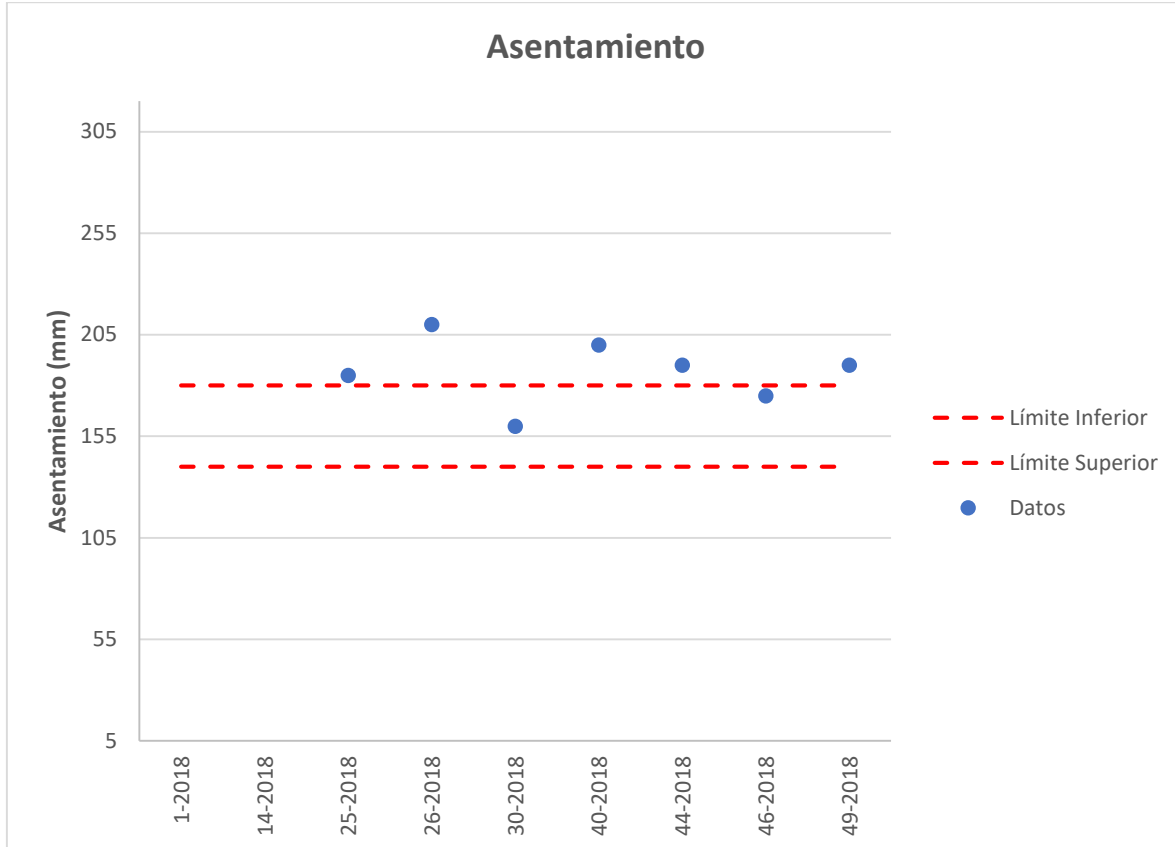


Figura 50. Asentamiento de concreto de 245 kg/cm² de Rama 2 para losas del laboratorio de verificación de calidad

En cuanto a la temperatura de colocación, se puede observar que hay un dato fuera de los límites de 9 datos analizados (Ver Figura 51).

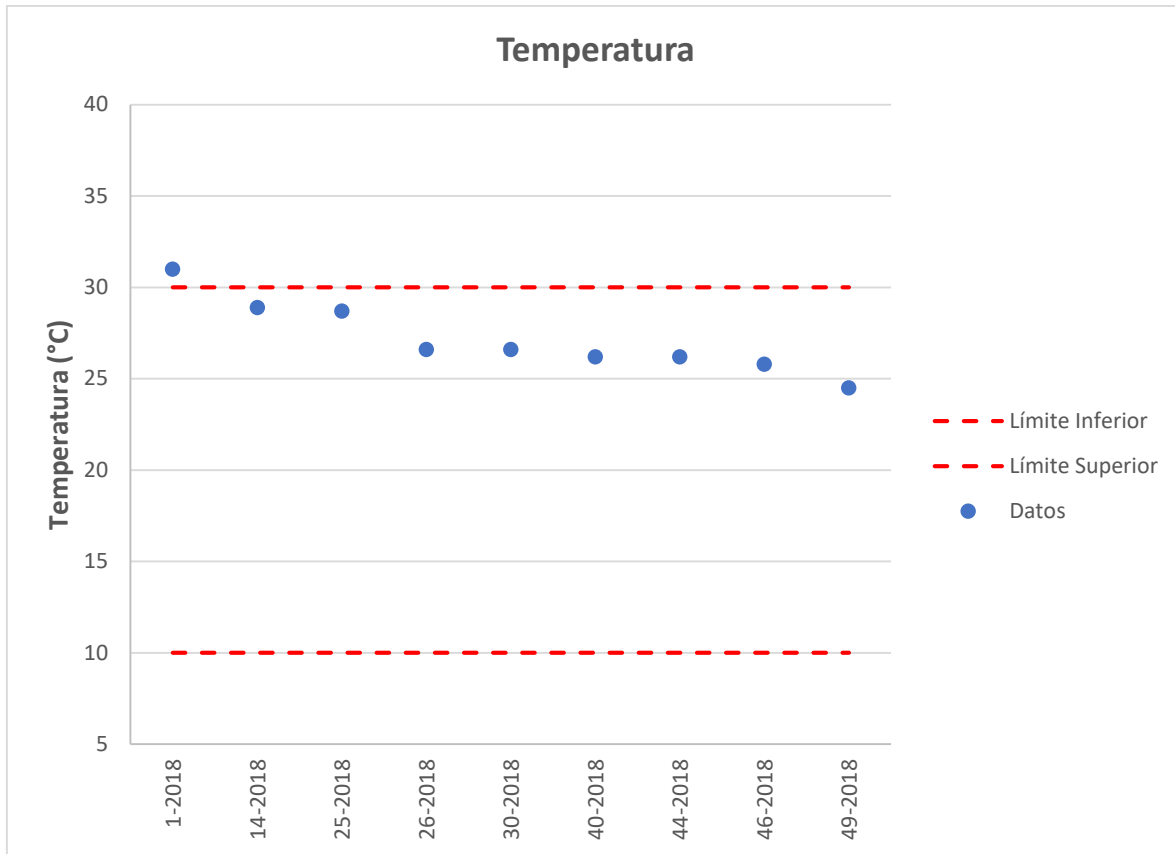


Figura 51. Temperatura de concreto de 245 kg/cm² de Rama 2 para losas del laboratorio de verificación de calidad

Con respecto a la resistencia a la compresión a los 28 días se observa en la Figura 52 que existe un dato fuera de los límites para esta categoría de concreto, esto de un total de 9 datos.

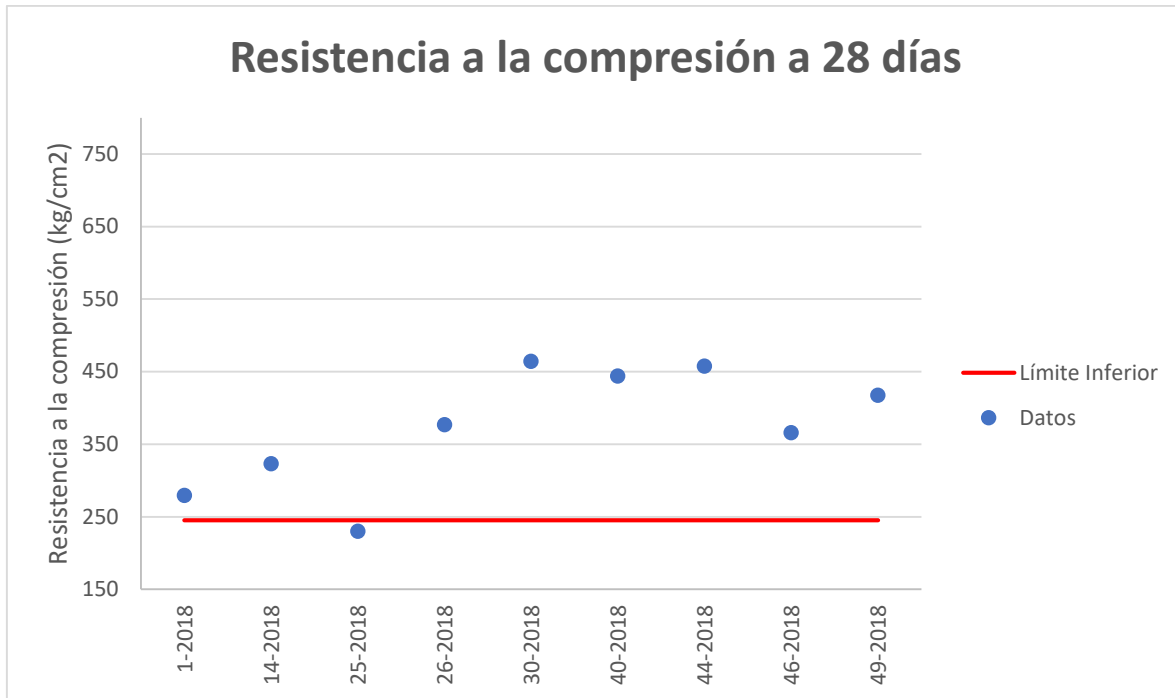


Figura 52. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 245 kg/cm² de Rama 2 para losas del laboratorio de verificación de calidad

Al realizar el análisis estadístico para este parámetro, se observa que el lote se acepta ya que porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación es menor que el máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido como se puede evidenciar en la Tabla 31.

Tabla 31. Resumen de características analizadas en el concreto de 245 kg/cm² de Rama 2 para losas del laboratorio de verificación de calidad

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 245 kg/cm ²	9	9,25%	40,545%	CUMPLE

Para esta categoría de concreto, el LanammeUCR no tomó muestras durante el periodo de la auditoría.

Concreto con resistencia a la compresión solicitada de 280 kg/cm² de la Rama 2

En relación al concreto de 280 kg/cm² de la Rama 2 se presentan los resultados obtenidos por el laboratorio de verificación de calidad. Con respecto al asentamiento se observa en la Figura 53 una cantidad importante de datos fuera de los límites (21 de 107 datos analizados).

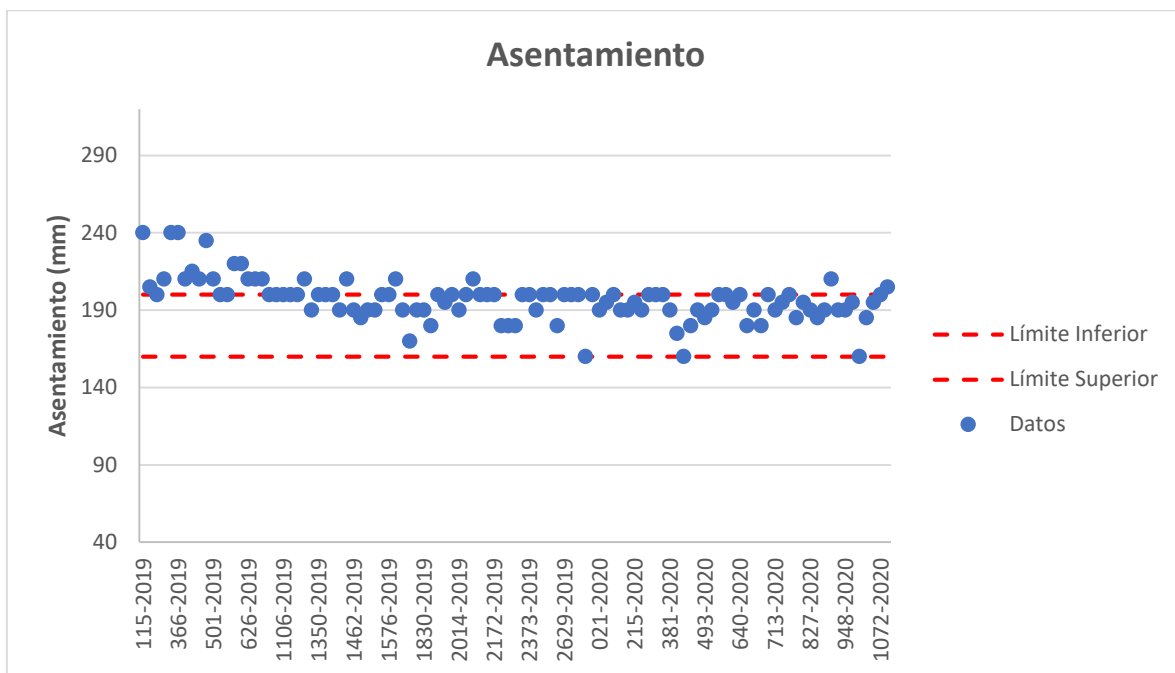


Figura 53. Asentamiento de concreto de 280 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

Con respecto a la temperatura de colocación, se evidencia que los datos se encuentran dentro de los límites solicitados para los datos analizados (Ver Figura 54).

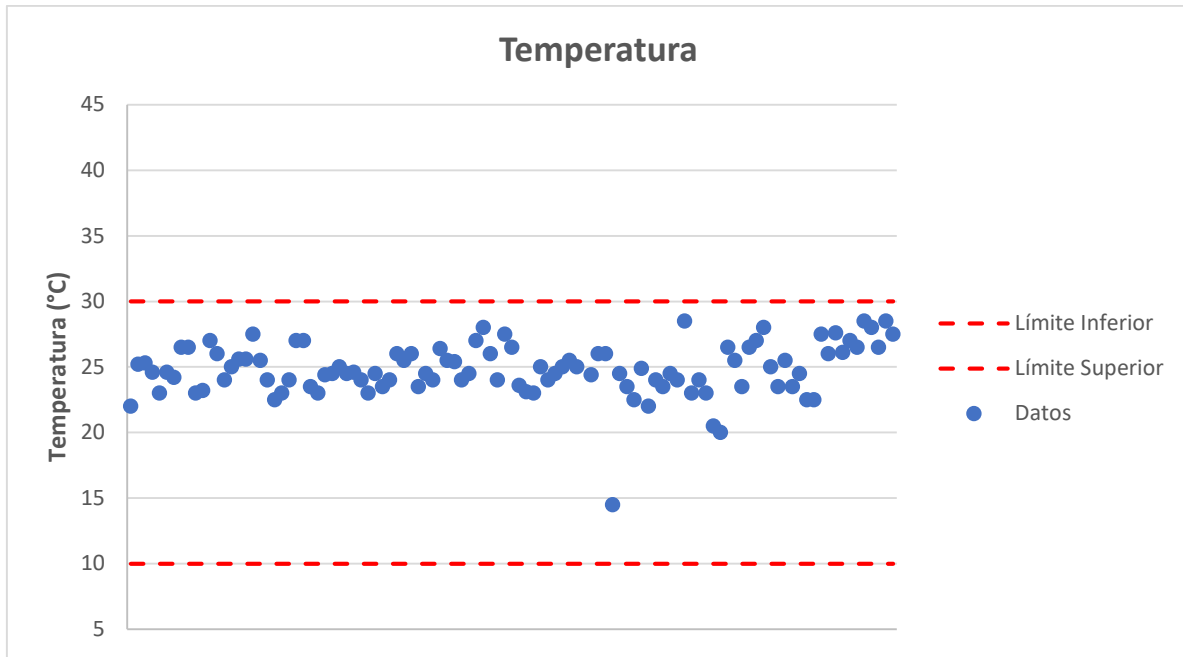


Figura 54. Temperatura de concreto de 280 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

Una situación similar se da con la resistencia a la compresión, la cual presenta todos los datos analizados por encima del límite superior especificado (Ver Figura 55).

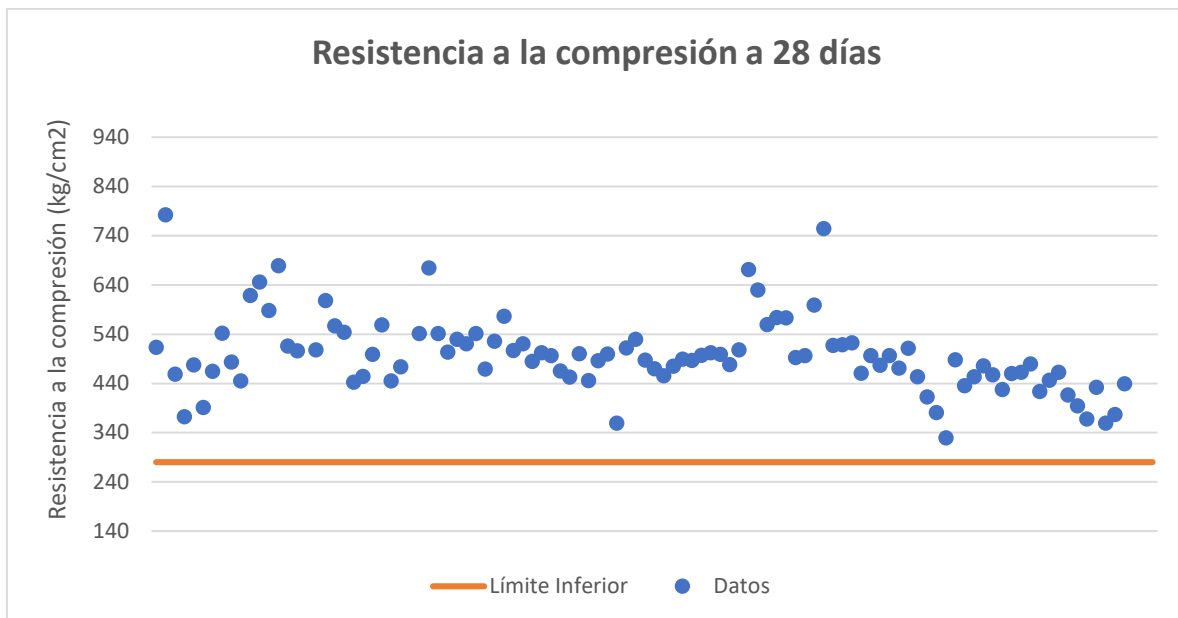


Figura 55. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 280 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

Al realizar el análisis estadístico para este concreto se observa que el lote se acepta, como es de suponer puesto que los datos analizados cumplen con el límite solicitado (Ver Tabla 32).

Tabla 32. Resumen de características analizadas en el concreto de 280 kg/cm² de Rama 2 para el laboratorio de verificación de calidad

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 280 kg/cm ²	107	0,28%	25,000%	CUMPLE

Para esta categoría de material el LanammeUCR tomó un total de 3 muestras las cuales se presentan en la Tabla 33.

Tabla 33. Resumen muestras analizadas del concreto de 280 kg/cm² de Rama 2 según los datos del LanammeUCR.

Informe	Ubicación	Fecha de muestreo	Resistencia Esperada (kg/cm ²)	Temperatura (°C)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm ²)
Límite Inferior				10	160	280
Límite superior				30	200	
I-1164-19	Puente Río Chirripó Columna	13/3/2019	280	26,00	205,00	432
I-1760-19	Puente Río Chirripó Viga Martillo, pila	9/10/2019	280	24,50	180,00	433
I-1760-19	Puente Río Chirripó Viga Martillo, pila	9/10/2019	280		190,00	437

De las 3 muestras analizadas se observa que una presenta un asentamiento levemente por encima del valor especificado. Esto se puede ver en la Figura 56.

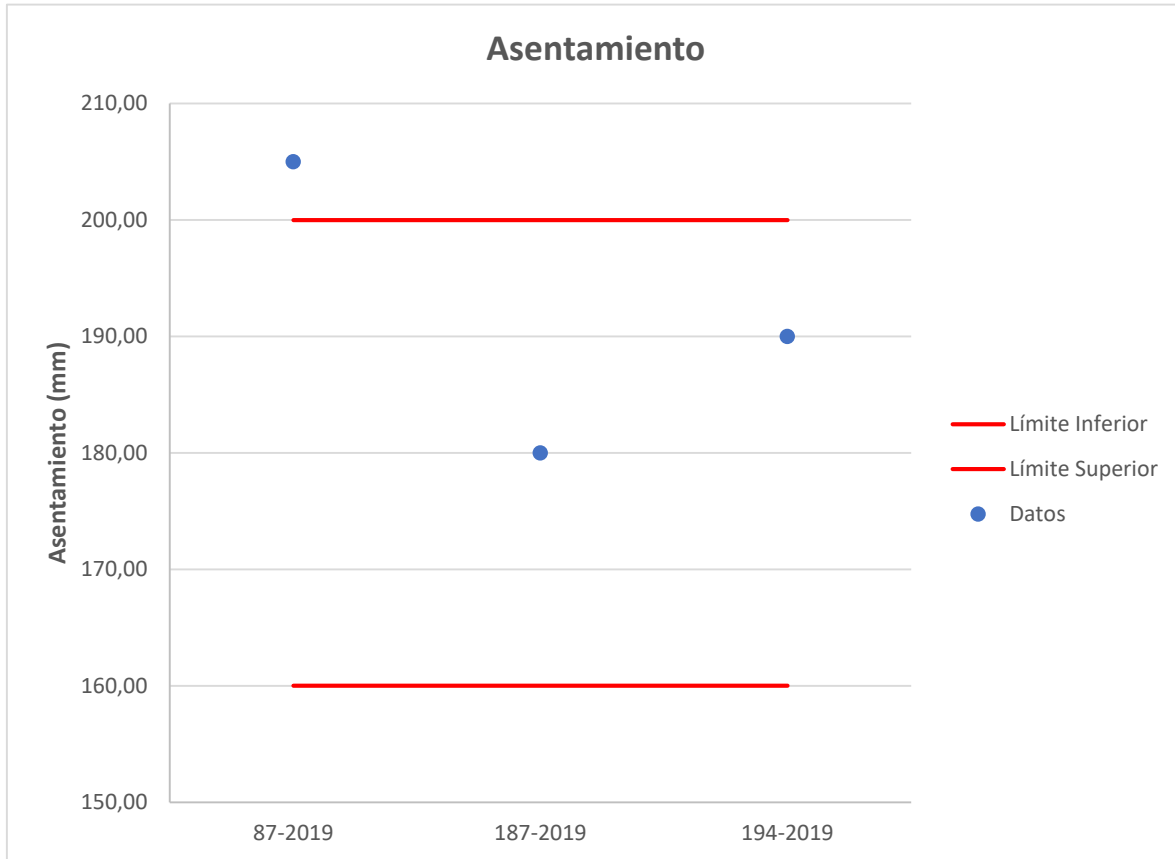


Figura 56. Asentamiento de concreto de 280 kg/cm² de Rama 2 según LanammeUCR

Con respecto a la temperatura de colocación, se puede evidenciar en la Figura 57 que se presentan valores dentro de los límites solicitados.

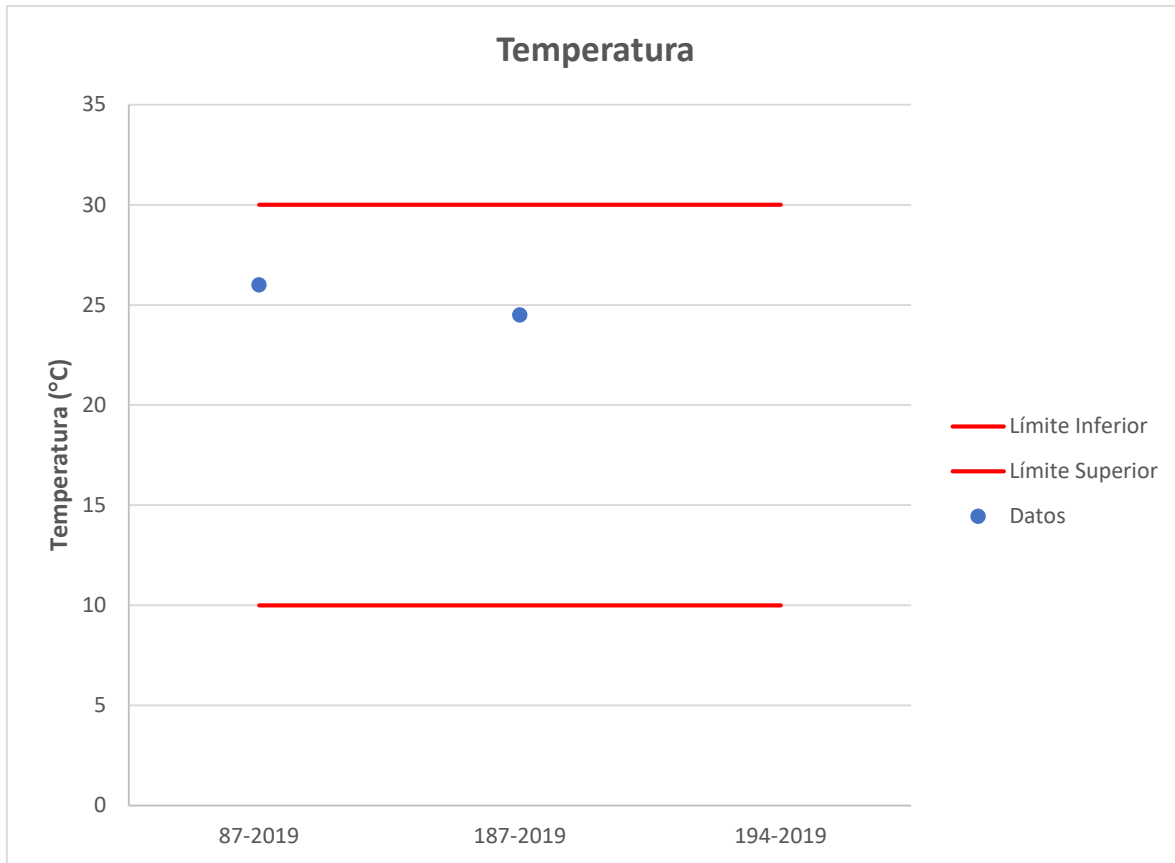


Figura 57. Temperatura de concreto de 280 kg/cm² de Rama 2 según LanammeUCR

En cuanto a la resistencia a la compresión se observa en la Figura 58, que los datos analizados presentan valores por encima del límite inferior especificado para este concreto. Se aclara que para este caso, no se puede realizar el análisis estadístico puesto que la cantidad de muestras es inferior a 5 que es el número mínimo de muestras necesarias para poder realizar el análisis.

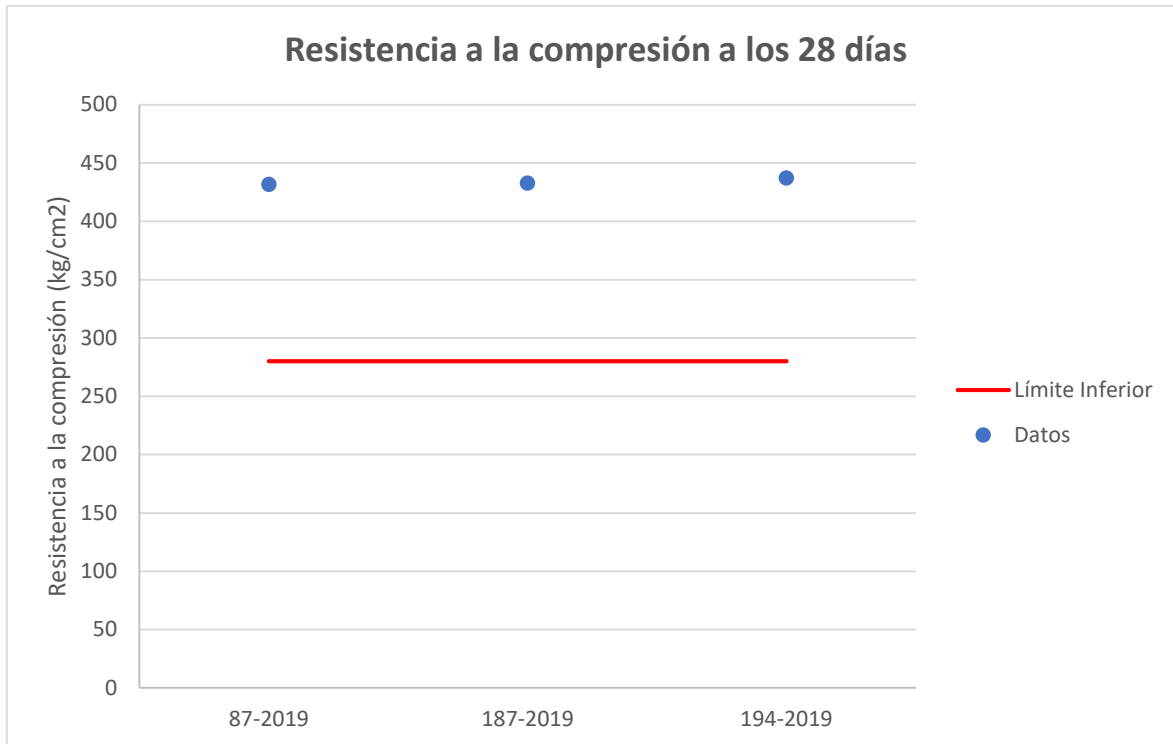


Figura 58. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 280 kg/cm² de Rama 2 según LanammeUCR

Concreto con resistencia a la compresión de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 2.

Con relación al concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 2, se observa que el asentamiento presenta una gran variabilidad en los datos (Ver Figura 59) y que hay 20 datos por encima del límite especificado y 16 por debajo. Esto para un total de 161 datos analizados.

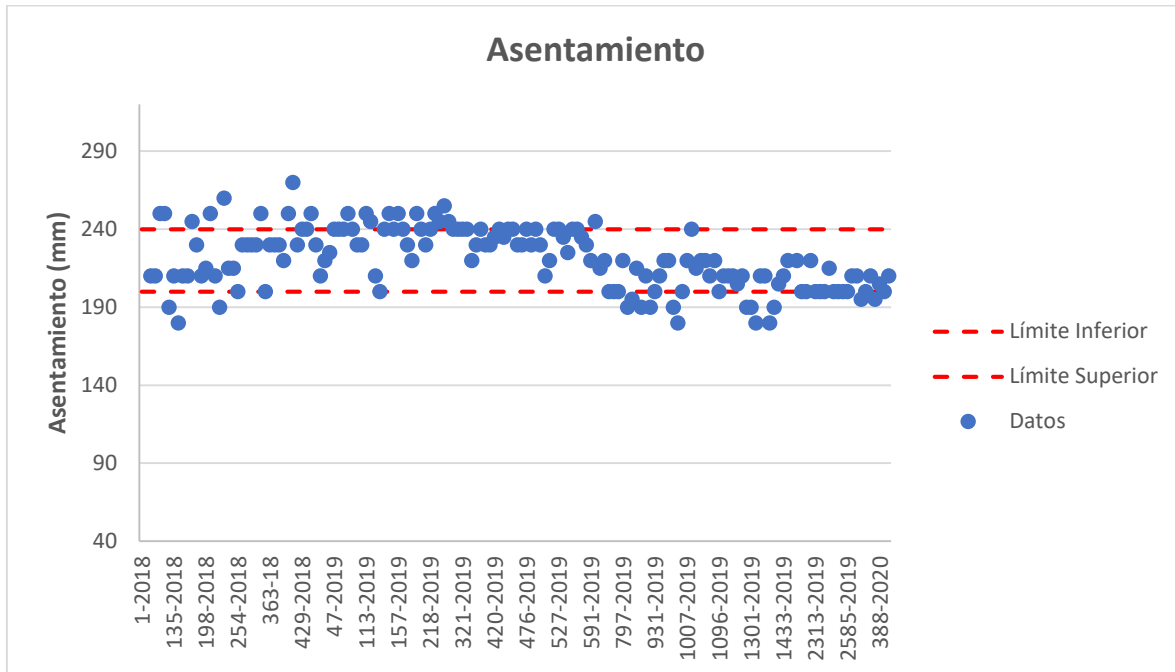


Figura 59. Asentamiento de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 2 según el laboratorio de verificación de calidad

A diferencia del asentamiento, la temperatura de colocación presenta todos los datos analizados dentro de los límites exigidos en el CR-2010 (Ver Figura 60).

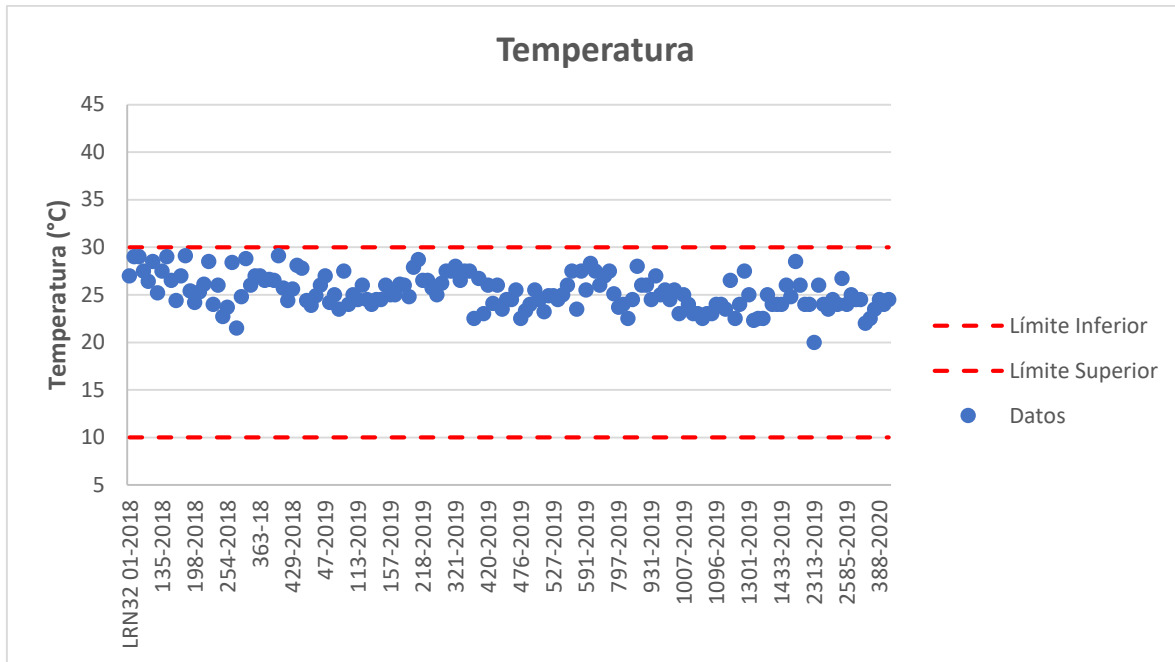


Figura 60. Temperatura de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 2 según el laboratorio de verificación de calidad

La resistencia a la compresión presenta todos los datos analizados por encima del límite solicitado para esta categoría de concreto, como se puede observar en la Figura 61.

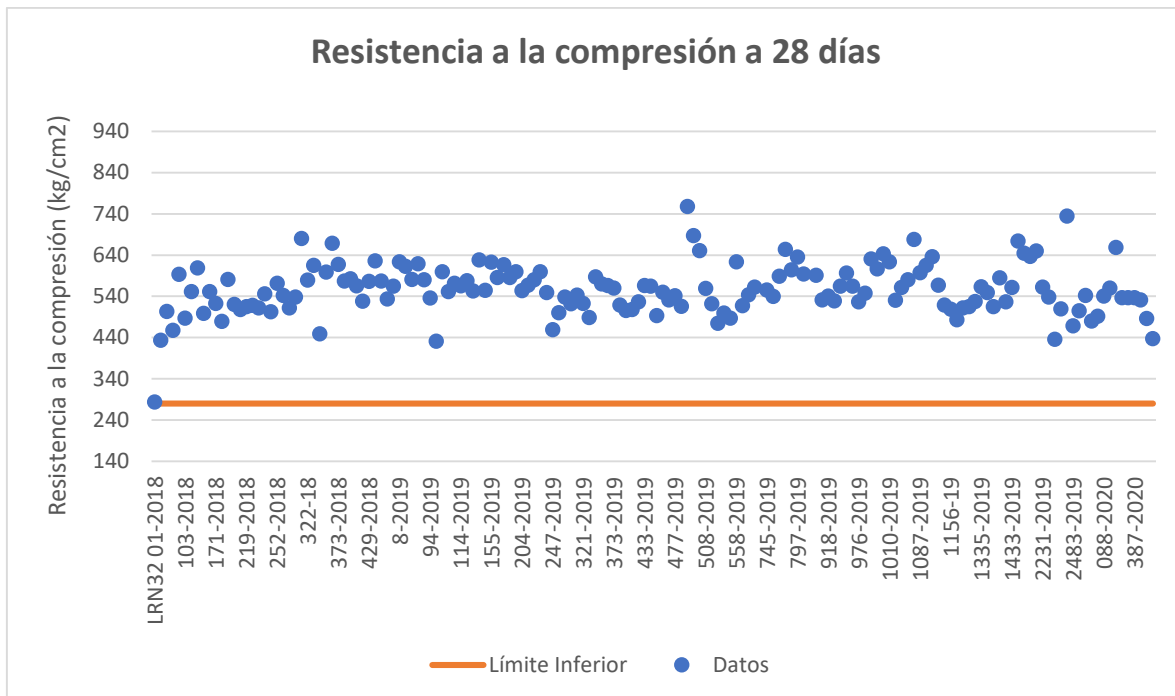


Figura 61. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 2 según el laboratorio de verificación de calidad

Al realizar el análisis estadístico se observa que el lote de producción de este concreto se acepta como es de esperar (ver Tabla 34).

Tabla 34. Resumen de características analizadas del concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 2 según el laboratorio de verificación de la calidad.

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 280 kg/cm ²	161	6,81%	25,000%	CUMPLE

Para este concreto el LanammeUCR tomó un total 6 muestras las cuales se pueden observar en la Tabla 35.

Tabla 35. Resumen muestras analizadas del concreto de 280 kg/cm² de Rama 2 según los datos del LanammeUCR.

Informe	Ubicación	Fecha de muestreo	Resistencia Esperada (kg/cm ²)	Temperatura (°C)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm ²)
Límite Inferior				10	200	280
Límite superior				30	240	
I-0262-19	Río Chirripó, Sello de pila	12/3/2019	280	28,70	230,00	418
I-0262-19	Río Chirripó Pilote	13/3/2019	280	26,10	260,00	467
I-0262-19	Río Chirripó Pilote	13/3/2019	280	26,90	255,00	468
I-1164-19	Puente Río Blanco Bastión y pilote	14/3/2019	280	27,20	230,00	486
I-1165-19	Puente Río Chirripó Pilote y Pila	27/3/2019	280	26,50	245,00	487
I-1220-19	Puente Río Chirripó Pilote y Pila	23/4/2019	280	25,00	245,00	450

Con respecto al asentamiento se puede evidenciar que 4 de los 6 datos analizados cuentan con valores fuera de los límites designados en el diseño de mezcla para este concreto como se puede apreciar en la Figura 62.

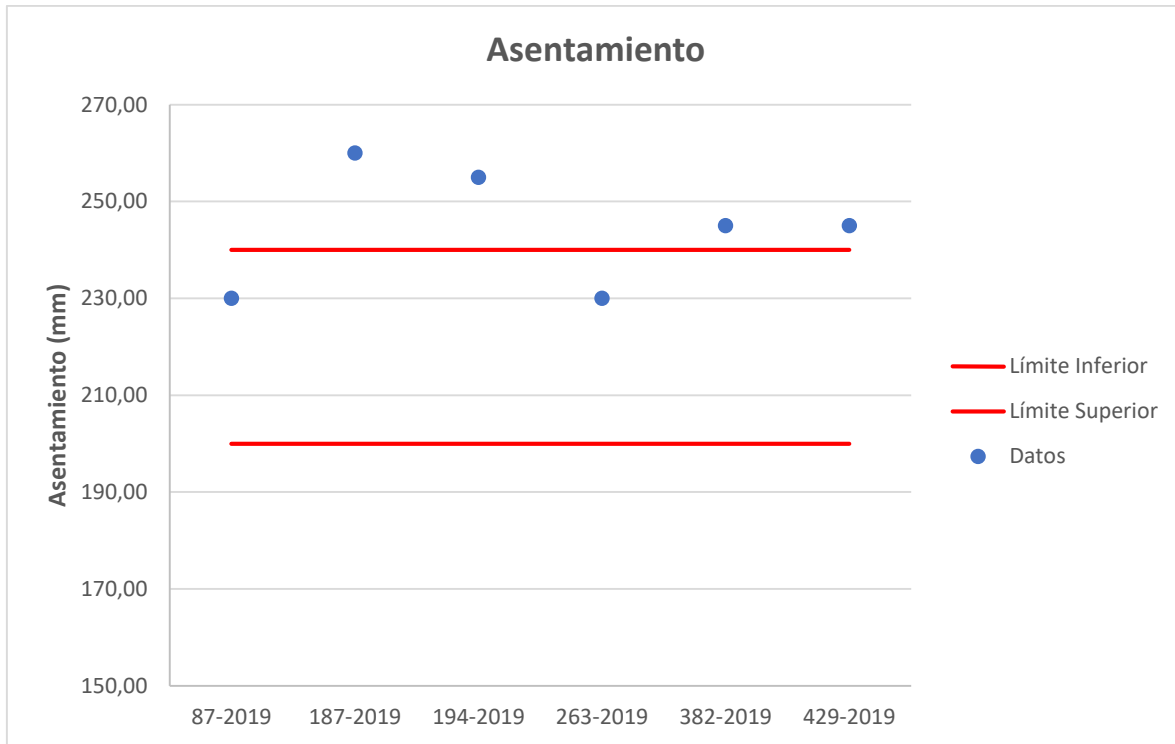


Figura 62. Asentamiento de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 2 según el LanammeUCR

La temperatura del concreto como se puede evidenciar en la Figura 63 presenta valores dentro de los límites solicitados para todos los datos evaluados.

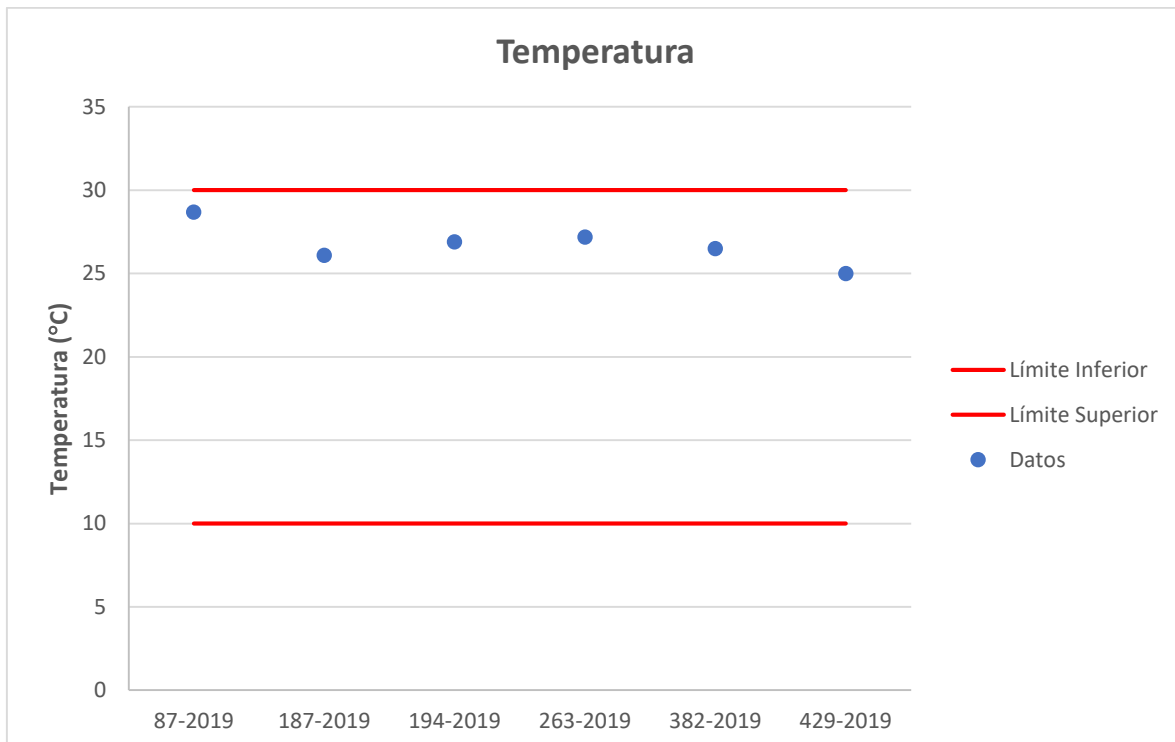


Figura 63. Temperatura de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 2 según el LanammeUCR

Al revisar los datos de resistencia a la compresión se evidencia que todos los datos superan el límite inferior requerido para este concreto (Ver Figura 64).

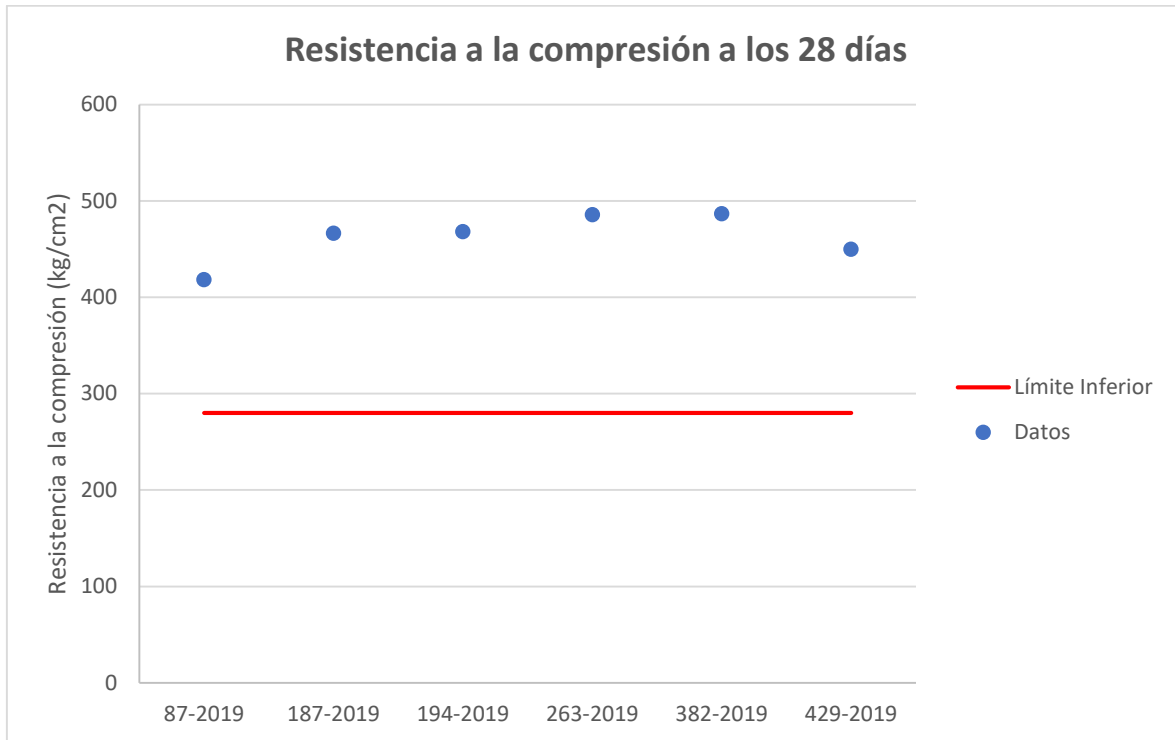


Figura 64. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 2 según el LanammeUCR

Cuando se analizan los datos mediante el análisis estadístico para este concreto se puede evidenciar que el lote analizado se acepta para esta categoría de concreto (ver Tabla 36).

Tabla 36. Resumen de características analizadas en el concreto de 280 kg/cm² para pilotes de Rama 2 según LanammeUCR

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 280 kg/cm ²	6	0,043%	43,618%	CUMPLE

Concreto con resistencia a la compresión solicitada de 400 kg/cm² de Rama 2

Finalmente, para el concreto de 400 kg/cm² de Rama 2, el cual se utiliza para la fabricación de las vigas principales de los puentes se puede observar en la Figura 65, que únicamente 3 datos de un total de 30 se encuentran fuera de los límites permitidos para este tipo de concreto.

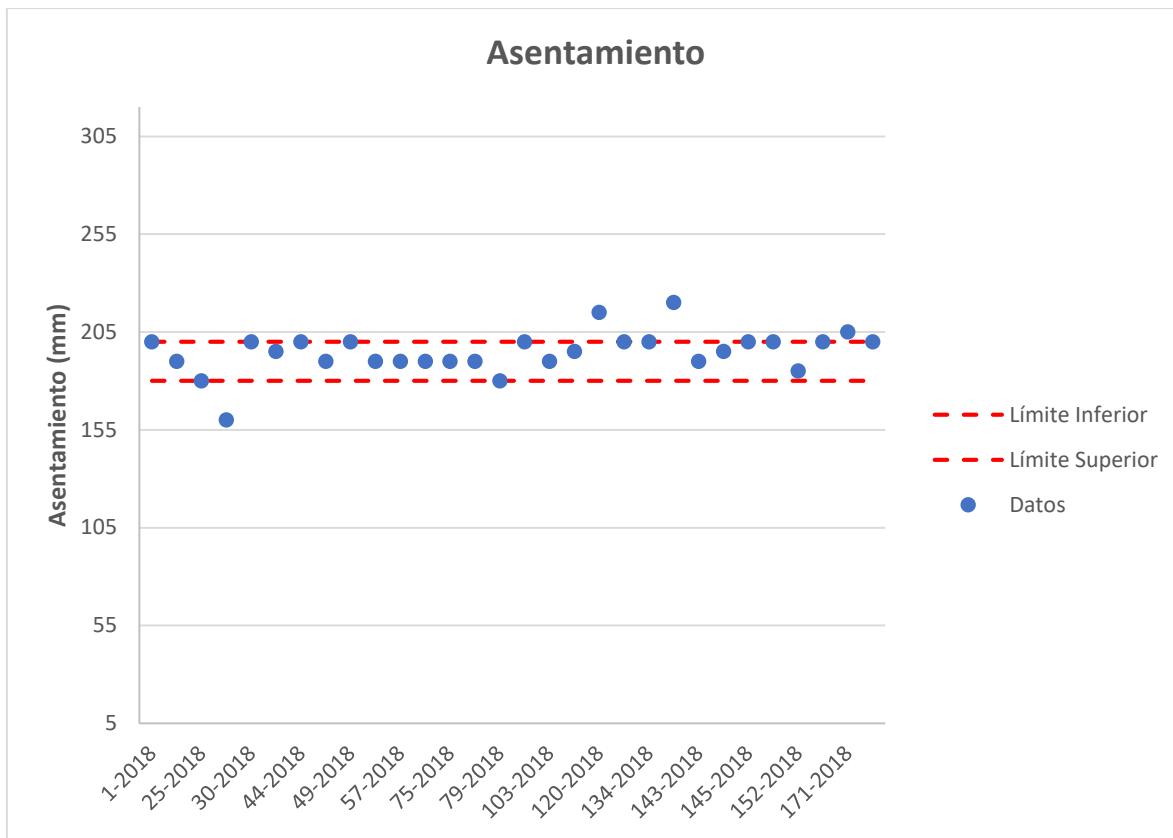


Figura 65. Asentamiento de concreto de 400 kg/cm² de Rama 2 según el laboratorio de verificación de calidad

Con respecto a la temperatura de colocación se observa que los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites permitidos según el CR-2010 (Ver Figura 66).

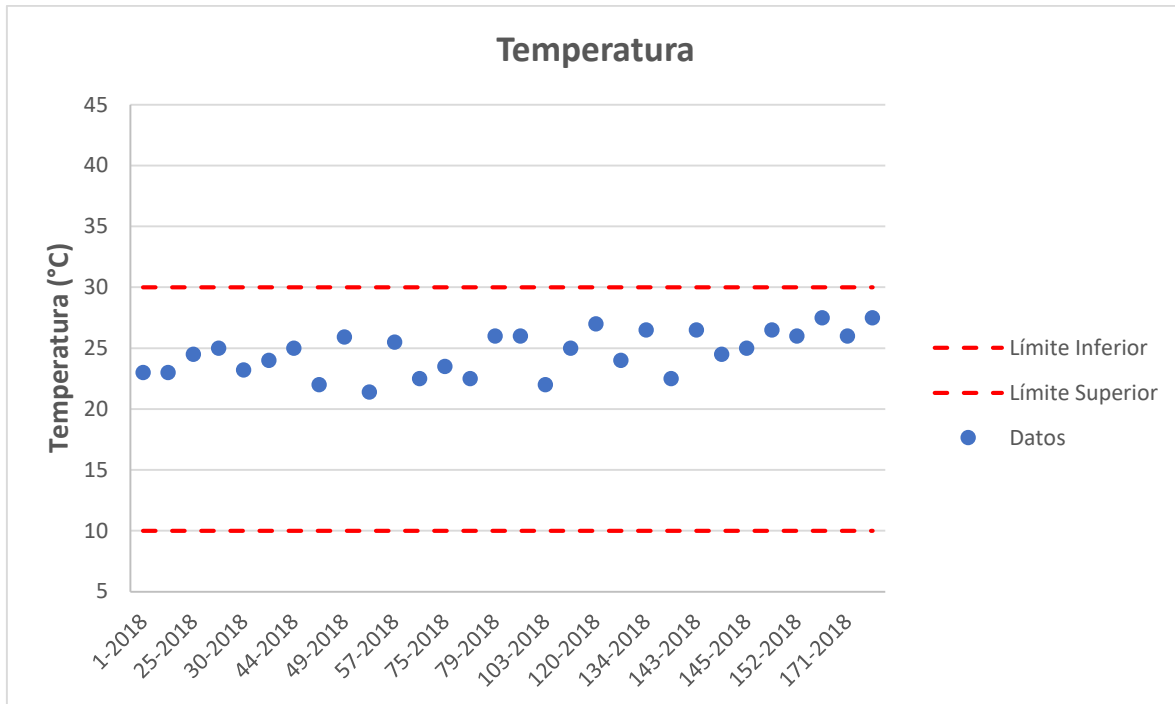


Figura 66. Temperatura de concreto de 400 kg/cm² de Rama 2 según el laboratorio de verificación de calidad

Situación similar ocurre con la resistencia a la compresión ya que todos los valores se encuentran por encima del límite superior especificado (Ver Figura 67).

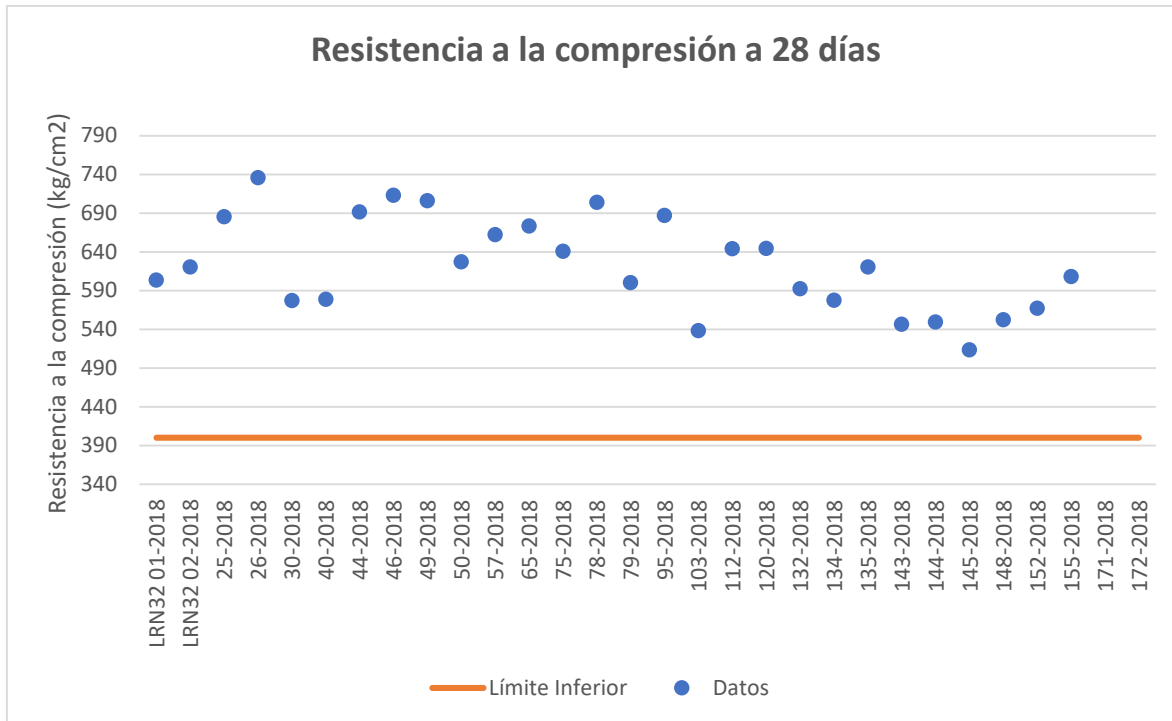


Figura 67. Resistencia a la compresión a 28 días de concreto de 400 kg/cm² de Rama 2 según el laboratorio de verificación de calidad

Esto se confirma al realizar el análisis estadístico y observar que el lote analizado se acepta (ver Tabla 37).

Tabla 37. Resumen de características analizadas en el concreto de 400 kg/cm² de Rama 2 según el laboratorio de verificación de calidad

Descripción	Categoría	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)	Cumplimiento
Resistencia a la compresión	I	Mínimo 400 kg/cm ²	28	0,05%	31,944%	CUMPLE

Para este concreto el LanammeUCR no cuenta con muestras ensayadas durante el periodo de la auditoría.

Como se puede observar, el concreto en términos generales tanto para Rama 1 y Rama 2, cumplió el análisis estadístico de resistencia a la compresión (en los casos en donde pudo ser aplicado). También, salvo casos puntuales, se evidenció que la temperatura de colocación del concreto se encontraba dentro de los límites permitidos por el CR-2010, tanto para losas como para los demás elementos evaluados en este análisis.

En el caso del asentamiento, sí se logró evidenciar una variabilidad importante en los datos, tanto para el laboratorio de verificación como para los datos recolectados por el



LanammeUCR. Un asentamiento muy bajo dificulta la trabajabilidad del concreto y puede generar acabados deficientes, facilitando la aparición de nidos de piedra. Por el contrario, un asentamiento alto genera un concreto susceptible a la segregación.

A pesar de esto se debe recordar que como se mencionó en el Hallazgo anterior, durante la ejecución del proyecto, se evidenciaron algunos ensayos al concreto fresco que se alejaban de lo indicado en normativa para el correcto muestreo de concreto fresco y medición de sus propiedades.

Finalmente, es importante señalar que el análisis estadístico para el concreto solo es especificado para la resistencia del concreto; sin embargo, es criterio del Equipo Auditor que los límites de aceptación y rechazo, como lo son la temperatura de colocación o el asentamiento presentan una mayor severidad ya que implican que en caso de incumplimiento se debe rechazar todo aquel material que no cumpla con estos parámetros.

Hallazgo 4. Los parámetros del acero de refuerzo evaluado por el LanammeUCR se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma ASTM A 706, a excepción de la elongación de las varillas en donde se evidenciaron unos incumplimientos puntuales en varillas .

El LanammeUCR procedió a realizar diferentes muestreos de varillas de refuerzo tanto en Rama 1 como en Rama 2, con el fin de determinar si las varillas cumplían con los parámetros exigidos en la norma ASTM 706. A continuación, se presentan los resultados obtenidos

Acero de refuerzo de Rama 1

En la rama 1 se tomaron un total de 41 muestras de 3 varillas cada una, en la cual como se observa en la Figura 68.

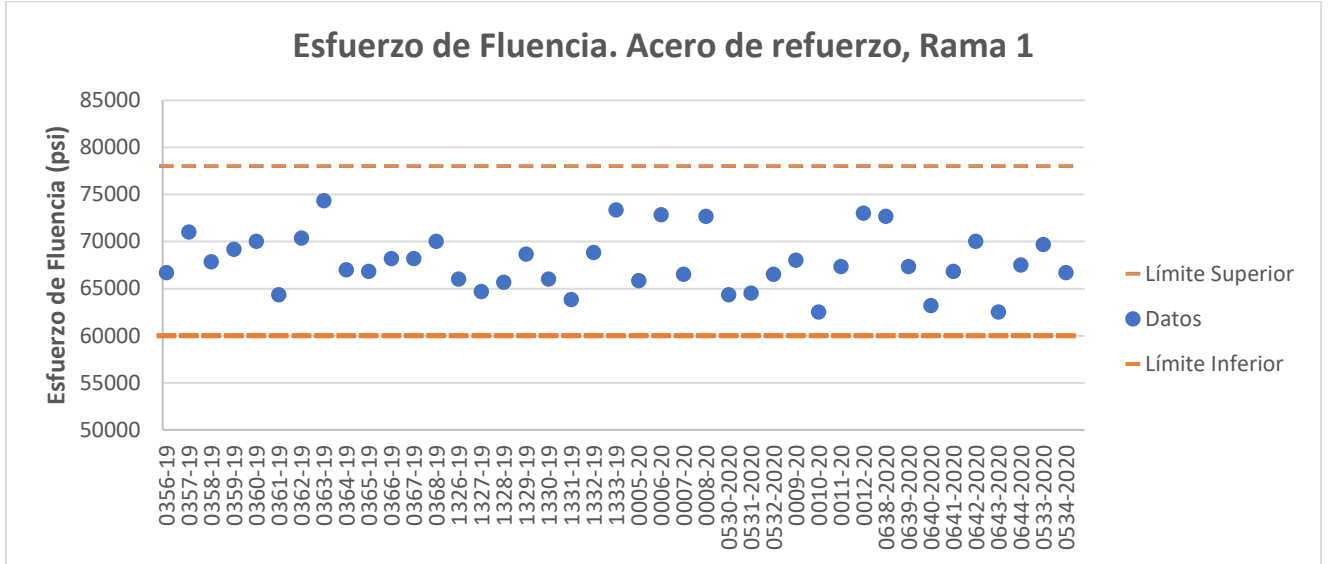


Figura 68. Esfuerzo de fluencia de acero de refuerzo de Rama 1 según el LanammeUCR

Como se observa todos los resultados de obtenidos por el LanammeUCR se encuentran dentro de los límites especificados. Situación similar sucede con los resultados obtenidos para esfuerzo máximo como se observa en la Figura 69.

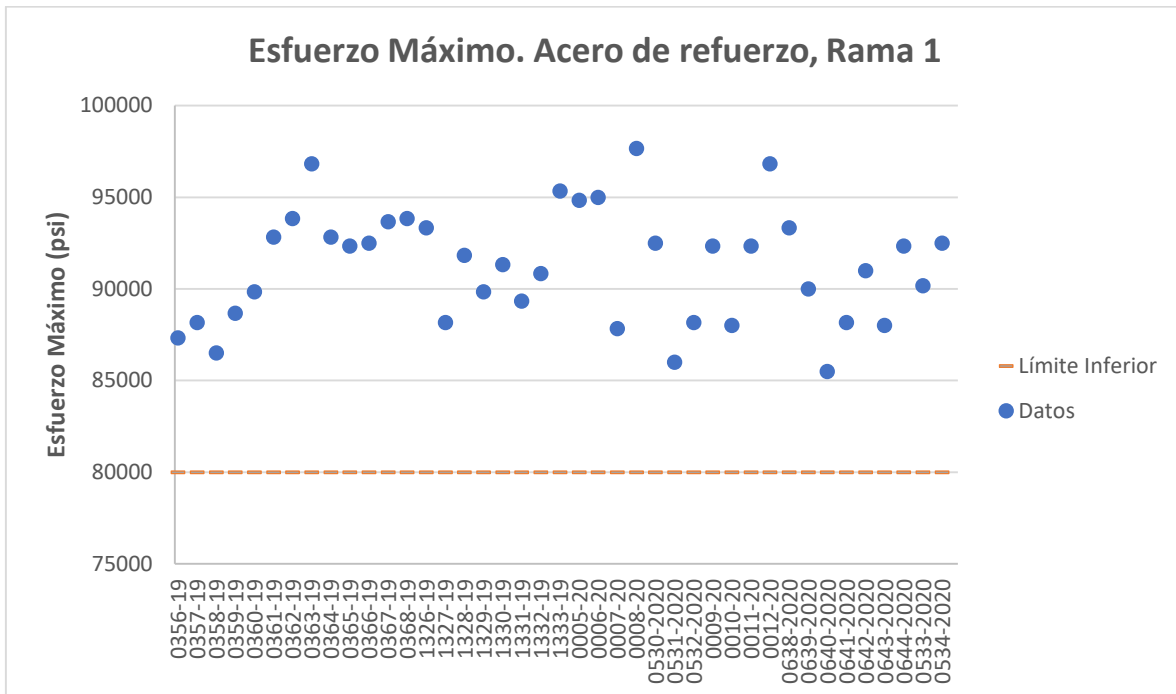


Figura 69. Esfuerzo máximo de acero de refuerzo de Rama 1 según el LanammeUCR

En cuanto a la elongación estas se deben dividir en el diámetro de las varillas ya que el rango de especificación es diferente para las varillas #3 a #6 de las varillas #7 a #10.

Para las varillas de la Figura 70 se observan algunos incumplimientos puntuales en la elongación especificada. Esto se da en específicamente en varillas #3, #4 y #5.

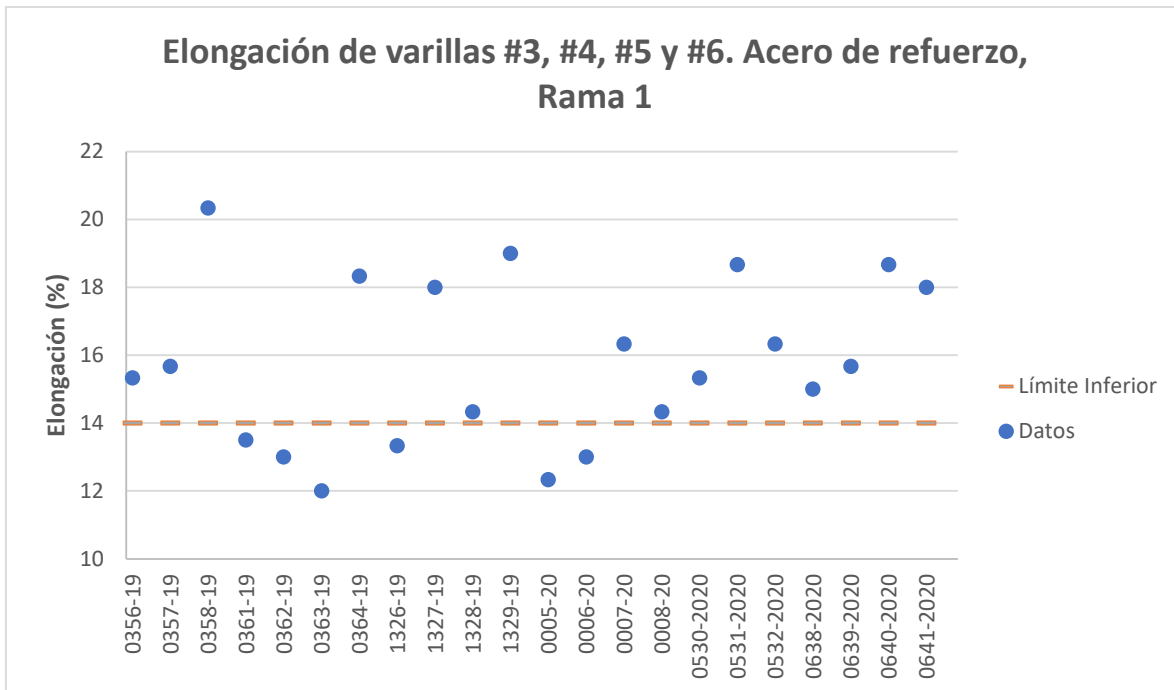


Figura 70. Elongación de varillas #3 a #6 de acero de refuerzo de Rama 1 según el LanammeUCR

En cuanto a la elongación de varillas de #7 a #10 se observa que todos los valores se encuentran dentro de los límites especificados.

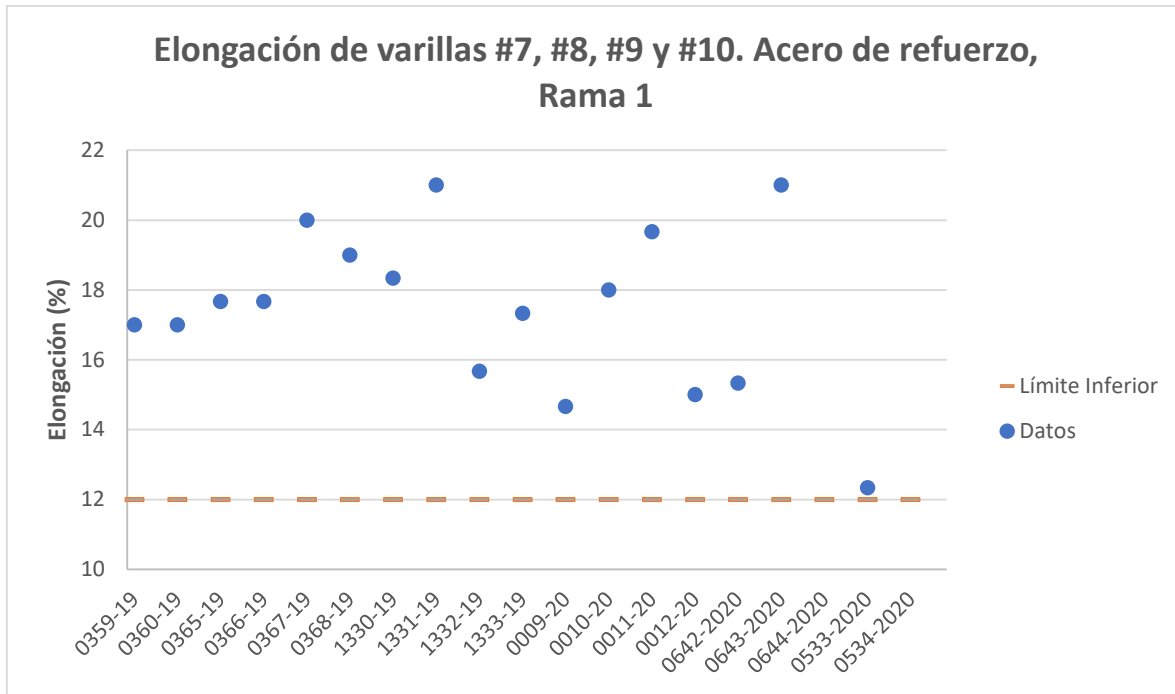


Figura 71. Elongación de varillas #7 a #10 de acero de refuerzo de Rama 1 según el LanammeUCR

Acero de refuerzo de Rama 2

En la rama 2 se tomaron un total de 22 muestras, en la cual como se observa en Figura 72, los valores de esfuerzo de fluencia se encuentran dentro de los límites solicitados.

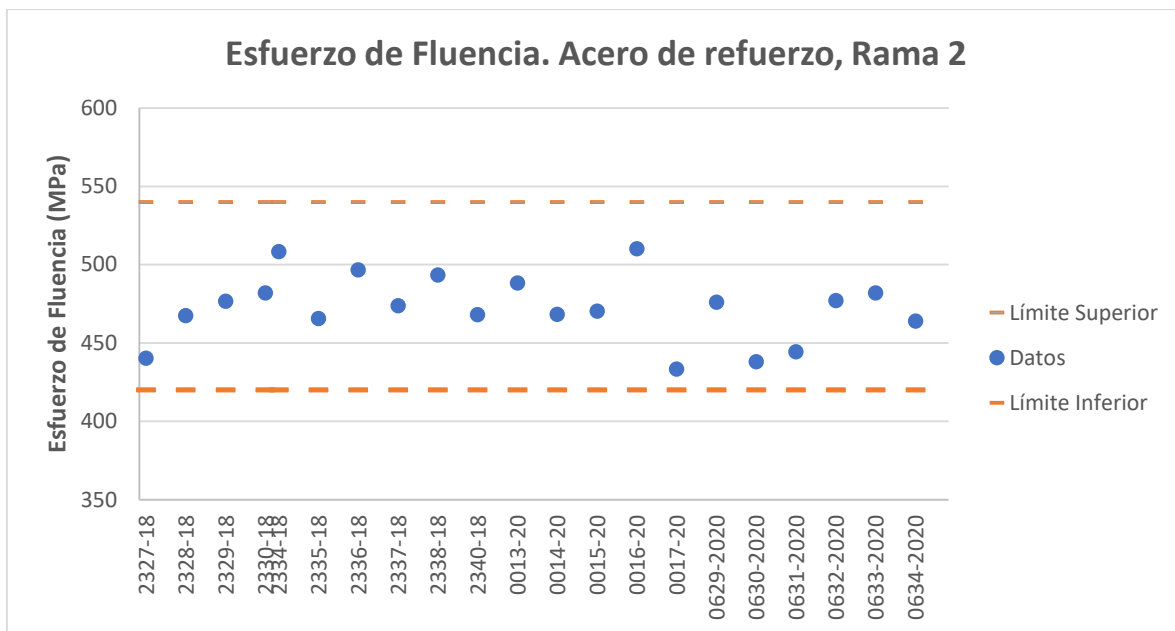


Figura 72. Esfuerzo fluencia de acero de refuerzo de Rama 2 según el LanammeUCR

En cuanto al esfuerzo máximo, se observa que los valores obtenidos por el LanammeUCR se encuentran por encima del valor especificado como se observa en la Figura 73.

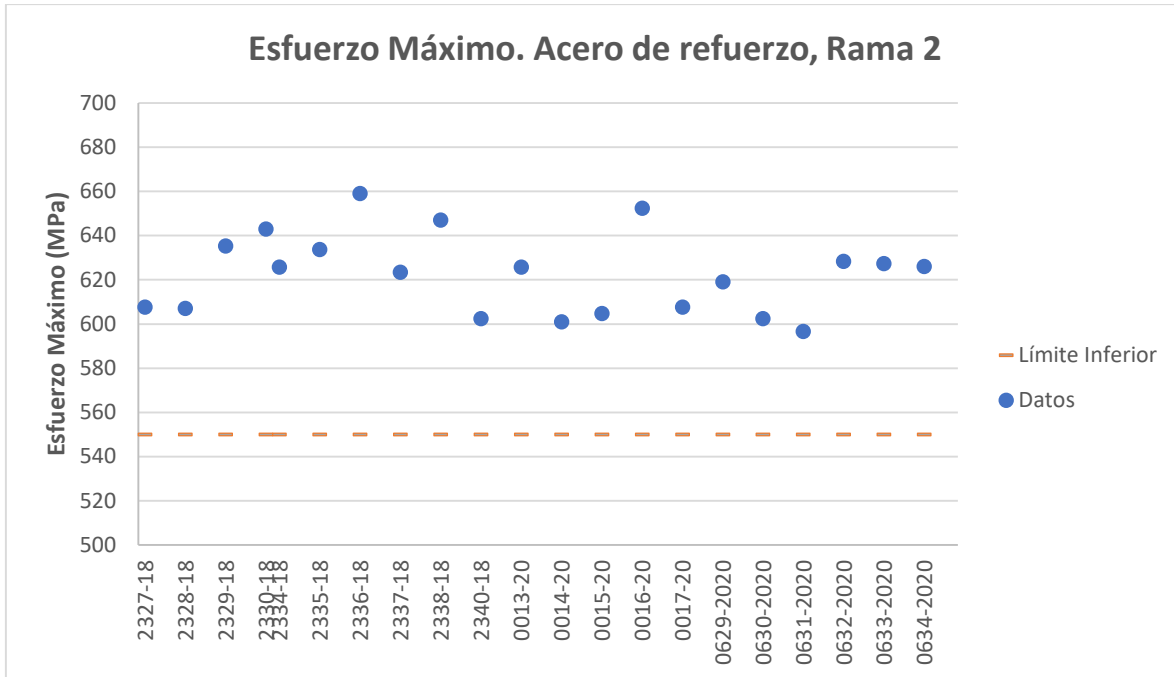


Figura 73. Esfuerzo máximo de acero de refuerzo de Rama 2 según el LanammeUCR

De forma varillas similar a la Rama 1 en Rama 2, se observan algunos incumplimientos puntuales en el parámetro de elongación en las varillas #3 y #4. Esto se puede observar en la Figura 74.

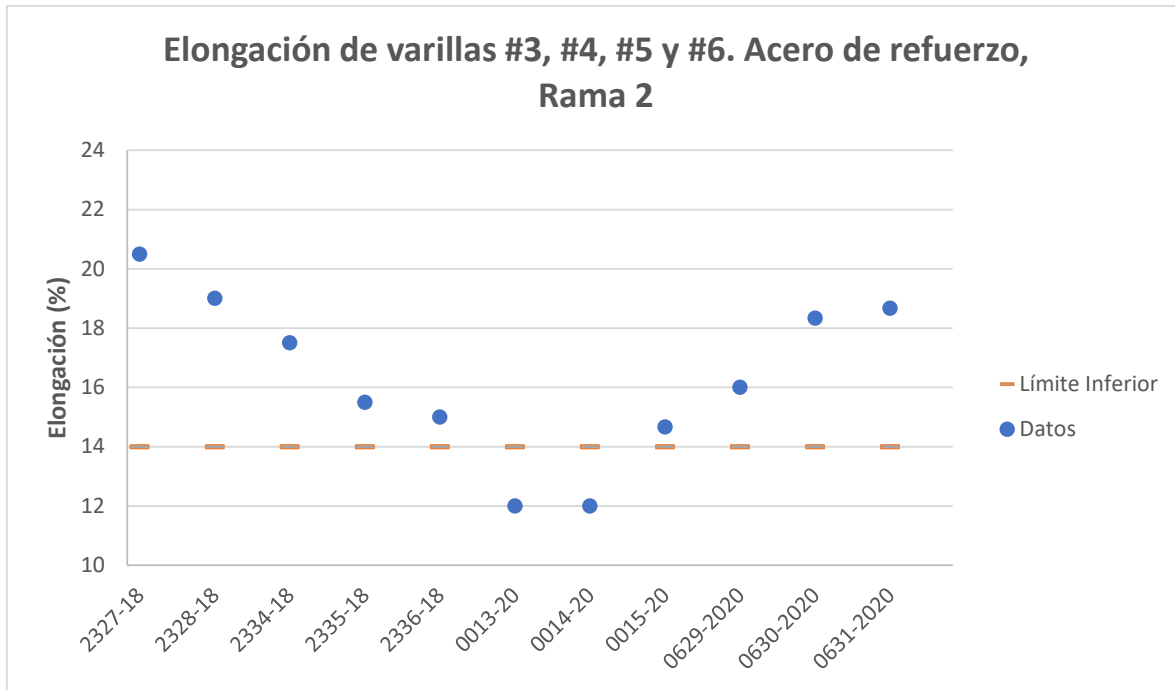


Figura 74. Elongación de varillas #3 a #6 de acero de refuerzo de Rama 2 según el LanammeUCR

En cuanto a la elongación de las varillas de la 7 a la 10, no hay incumplimientos como se observa en la Figura 75.

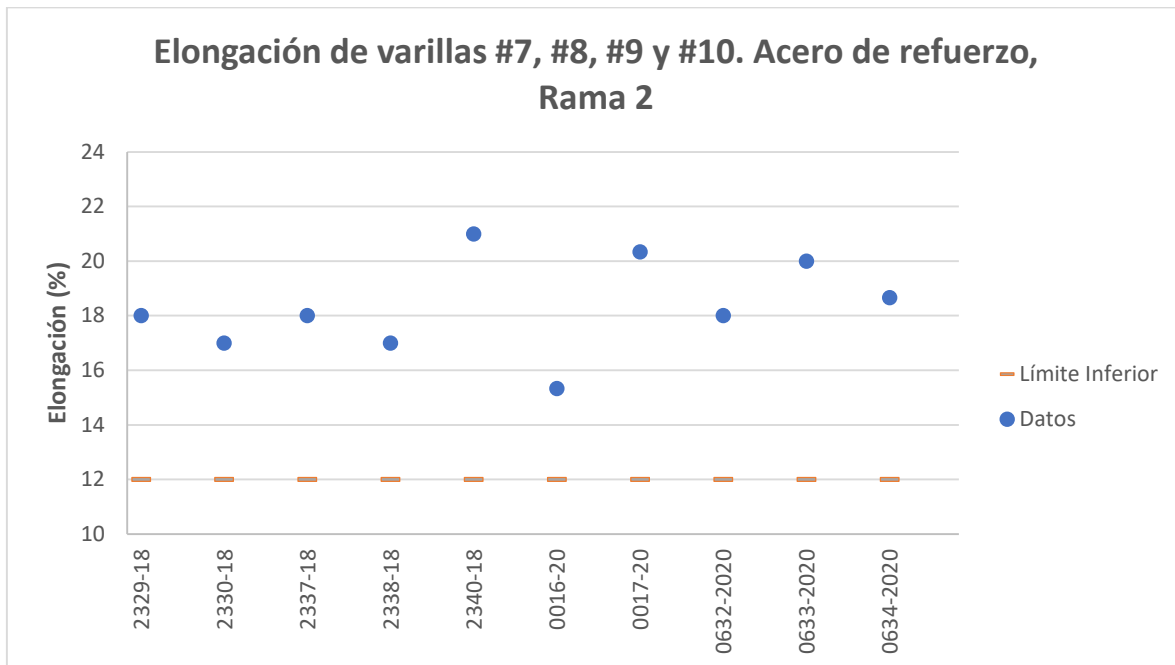


Figura 75. Elongación de varillas #7 a #10 de acero de refuerzo de Rama 2 según el LanammeUCR



Una elongación menor a la esperada puede ocasionar que el material presente un comportamiento más frágil al esperado por el diseñador de la estructura, por lo que es criterio del Equipo Auditor que es un aspecto que debe ser evaluado.

Sin embargo, es importante señalar que las varillas que presentaron incumplimientos son las varillas de menor diámetro usadas principalmente para la fabricación de estribos los cuales trabajan como elementos sometidos esfuerzos cortantes.

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:

Sobre los estudios preliminares del proyecto

- Según CIEDES (2018), la caracterización climática realizada para las cuencas evaluadas se considera pobre. Lo anterior no aplica para las cuencas de los ríos Aguas Claras y San Miguel, para las cuales se elaboró una descripción más detallada en un estudio posterior.
- Las metodologías empleadas para determinar el caudal de diseño de las obras de drenaje transversal (a excepción de los puentes sobre los ríos Aguas Claras y San Miguel) no satisfacen los principios fundamentales para su uso, por lo que los resultados obtenidos pueden no ser representativos de las cuencas en estudio.
- Según CIEDES (2018), la información topográfica utilizada es insuficiente para generar un perfil de flujo y obtener niveles y velocidades de crecientes que sean representativas de las condiciones de flujo en los diferentes cauces. Lo anterior no aplica para los ríos Aguas Claras y San Miguel, en los cuales se extendió el levantamiento topográfico en un estudio posterior.
- Los documentos analizados sobre los estudios hidrológicos, presentan inconsistencias que merecen ser aclaradas para validar la representatividad de los estudios y análisis realizados, así como sus conclusiones y recomendaciones.
- No hay evidencia de que se haya llevado a cabo un análisis económico para seleccionar la estructura de pavimento óptima, dadas las condiciones del proyecto ni la vida útil del proyecto que optimice la inversión en la que debe incurrir la Administración a lo largo del tiempo de operación del proyecto.
- Los datos de tránsito fueron obtenidos para las condiciones actuales de la vía por lo que pueden generar limitaciones pues no consideran el cambio en la capacidad de la vía ni el efecto de otros proyectos viales que impactan sus condiciones de operación y de crecimiento vehicular.
- No se encontró evidencia de que se realizara una caracterización y definición previa de los materiales a utilizar en los diseños de cada una de las capas e intervenciones, contrario a lo establecido en los documentos contractuales.
- En el diseño de la estructura de pavimento de las ampliaciones, no hay claridad sobre el valor del módulo resiliente utilizado para caracterizar la subrasante de cada sección de control ni hay claridad sobre el origen de estos datos.
- En el diseño de la rehabilitación del pavimento existente, no se utilizó la metodología de diseño establecida en los documentos contractuales, pues se determina el



número estructural efectivo del pavimento existente mediante el método de ensayo no destructivo y no por el método de la vida remanente, como se exige en los documentos contractuales. Del análisis de deflexiones, debido a la condición estructural evidenciada en las capas intermedias, se concluye que la estrategia de intervención propuesta para la rehabilitación del pavimento existente puede no ser la óptima para brindarle a la estructura de pavimento la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas de tránsito que van a circular sobre ella.

- Se evidenció la ausencia de la técnica de seccionamiento por tramos a lo largo de la sección de control a pesar de existir una variabilidad de espesores importantes según las calicatas presentadas por el diseñador.
- No se logró establecer consistencia en el espesor de carpeta seleccionado y la variabilidad de espesores de la base estabilizada a lo largo de todo el proyecto bajo el principio de optimización de la estructura de pavimento.
- Se identificó que al menos 13 kilómetros de la ruta presentarán problemas para cumplir con el espesor remanente de subbase granular considerado en el diseño de pavimentos.
- No se logró determinar los espesores que deben ser perfilados por kilómetro para cumplir con el porcentaje máximo de 50 % de aporte de RAP en la recuperación de base con cemento que se planea realizar.
- Se realizaron análisis de desempeño de fatiga en la base estabilizada y deformación permanente únicamente en la fibra superior de subrasante.
- La verificación de los tipos de memoria de cálculo encontrados para la evaluación estructural de puentes existentes, permitió obtener porcentajes de cumplimiento con los criterios definidos desde un 50% y hasta un 60%. Estos porcentajes de cumplimiento permiten concluir que la calidad de las memorias de cálculo revisadas es considerada media y que se presentan omisiones o incumplimientos que son necesarios para un producto de alta calidad. Entre las deficiencias encontradas se pueden mencionar la utilización de normativa no vigente, metodologías que no permitían seguir el procedimiento utilizado y la omisión de la revisión de algunos estados límites.
- Del análisis de susceptibilidad a licuación de los puentes se concluye que no existe evidencia de que existan suelos licuables que no hayan sido detectados previamente por los estudios de suelos aportados por el contratista. Sin embargo, sí existen algunos materiales que no fueron caracterizados que podrían ser susceptibles a la licuación en algunos puentes del proyecto.
- Se evidenciaron oportunidades de mejora en el diseño geométrico de la vía las cuales pueden influir en la velocidad de diseño y las dimensiones de elementos como márgenes y alturas libres en la ruta.

Sobre el diseño de los materiales del proyecto

- Se evidenció que el diseño de concreto autocompactable de los pilotes presentado, no siguió las recomendaciones del manual ACI 237R “Self-consolidating concrete”. Lo anterior fue evidenciado por la no utilización del flujo de asentamiento como parámetro de diseño, el uso de proporciones de materiales diferentes a las típicas recomendadas para un concreto de este tipo, así como el uso de una relación agua/cemento mayor lo que podría provocar una eventual segregación del material.



Sobre la calidad de los materiales empleados en el proyecto

- Al analizar los distintos concretos del proyecto, se observa que los parámetros de temperatura de colocación como la resistencia a la compresión se encuentran dentro de los límites ya que salvo casos muy puntuales las distintas categorías de concreto han mantenido estas propiedades dentro de los límites exigidos por parte tanto del diseño de mezcla como del Manual CR-2010. En el caso del asentamiento del concreto se observa en general una gran dispersión, la cual en la mayoría de los casos tiende a superar el límite superior propuesto en los diferentes diseños de mezcla aprobados por la ingeniería de proyecto. Este tipo de situaciones pueden desencadenar en que el concreto evaluado pueda ser más susceptible a la segregación.
- Se evidenciaron valores puntuales fuera de los límites de especificación para la elongación de las varillas de Rama 1 y Rama 2.

11. RECOMENDACIONES

A continuación, se listan las recomendaciones del informe para que sean consideradas por la Administración, con el propósito de que puedan definirse e implementarse acciones integrales en éste y en futuros proyectos de infraestructura vial.

Al Ministerio de Obras Públicas y Transportes:

- Establecer e implementar lineamientos para verificar el contenido y la calidad de los estudios preliminares de los proyectos.
- Valorar el uso de la metodología de diseño AASHTO 93 en proyectos con la importancia y relevancia de la Ruta Nacional 32, por su naturaleza empírica y al ser calibrada para realidades ajenas a la de Costa Rica.

A la Unidad Ejecutora:

- Velar por la utilización de información representativa en futuros proyectos, que el alcance de las metodologías empleadas se ajuste a la realidad del proyecto y que los criterios técnicos utilizados sean debidamente justificados.
- Velar por la utilización de información actualizada y representativa de las condiciones de operación del proyecto. Además de que el alcance de las metodologías empleadas se ajuste a la realidad del proyecto y que los criterios técnicos utilizados sean debidamente justificados.
- Contar con procedimientos estandarizados para la ejecución de memorias de cálculo que permitan verificar la calidad de las memorias de cálculo y poder realizar la revisión de las mismas.
- Velar por cumplir con los lineamientos del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras para el diseño geométrico de los proyectos.



- Asegurarse de que se cumplan los requisitos del ACI 237R para concreto autocompactable.
- Velar porque tanto los laboratorios de autocontrol como de verificación de calidad, cumplan con lo indicado en las normas ASTM C31, ASTM C143, ASTM C1611 y ASTM C1064, esto con el fin de poder asegurar que los resultados obtenidos durante la ejecución de los ensayos sean válidos.
- Mantener un control estricto de los resultados obtenidos para el asentamiento del concreto fresco, con el fin de apegarse a las especificaciones solicitadas en el diseño de mezcla del material.
- Mantener un control sobre la elongación de las varillas mediante ensayos de falla de varillas de refuerzo.

12. REFERENCIAS

- AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2012). *AASHTO LRFD Bridge design specifications*. Washington: Customary U.S. Units.
- ACI. (2007). *ACI 237R-07 Self-Consolidating Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI Comité ACI 318. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)*. Farmington Hills, U.S.A.: American Concrete Institute.
- ACI Committee 301. (2016). *ACI 301-16 Specifications for Structural Concrete*.
- ASTM. (2015). *ASTM C143 Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. West Conshohocken: ASTM International.
- Decreto Ejecutivo N° 38799-MOPT. (2015). *Reglamento de dispositivos de seguridad y control temporal de tránsito para la ejecución de trabajos en las vías*. San José: La Gaceta N° 121.
- Monge, A. (2018). *LM-IG-06-18 Efecto de Licuación en puentes de Ruta 32*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Monge, A. (2019). *LM-IG-01-19 Revisión de Informe 40-002 diseños de mezcla*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- MOPT. (2010). *Manual de Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Carreteras y Puentes CR-2010*. San José.
- Oreamuno, R., & Bonilla, R. (2018). *CIEDES-010-2018*. San José, Costa Rica: CIEDES-UCR.
- SIECA. (2000). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito*. Guatemala.
- SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*.
- SIECA. (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*. El Salvador: Primera Edición.
- Vargas Alas, L. G., Castillo Barahona, R., & Esteban, V. (2018). *LM-PIE-UP-2018-R02 Revisión de Recomendaciones*. San José: LanammeUCR.
- Vargas Alas, L. G., Castillo Barahona, R., & Esteban, V. (2018). *LM-PIE-UP-PF06-2018 R03 Verificación de Memorias de Cálculo*. San José: LanammeUCR.
- Vargas Alas, L. G., Castillo Barahona, R., & Esteban, V. (2018). *LM-PIE-UP-PF06-2018-R01 Puentes susceptibles a Licuefacción*. San José: LanammeUCR.




Zamora, J., Elizondo, A., & Navas, A. (2020). *LM-IC-D-0428-2020*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.

EQUIPO AUDITOR		
Preparado por: Ing. Francisco Fonseca Chaves Auditor Técnico	Revisado por: Ing. Mauricio Picado Muñoz Auditor Técnico	Revisado por: Ing. Sergio Guerrero Aguilera Auditor Técnico
Revisado por: Ing. Luis Carlos Alfaro Monge Auditor Técnico	Visto Bueno de Legalidad: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR	Revisado y aprobado por: Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc. Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica
Aprobado por: Ing. Alejandro Navas Carro, MSc. Director General LanammeUCR		



13. ANEXOS

Anexo A. Análisis del descargo

 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

LM-INF-IC-D-0014B-2020: Análisis de los estudios previos y la calidad de los materiales del Proyecto Ampliación de la Ruta 32, sección: Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce de Sarapiquí)- Limón.

2. Descargo

El día Lunes 11 de enero de 2021, se recibe vía correo electrónico el oficio UE-DRA-RN32-009-2021-028 (179), remitido por el Ing. Kenneth Solano Carmona como descargo al informe en versión preliminar LM-INF-IC-D-0014B-2020. Como parte del descargo, se adjunta el oficio CSRN32-0045-2020 (de fecha 8 de enero de 2021), donde la Unidad Ejecutora del programa brinda descargo al informe LM-INF-IC-D-0014B-2020.

3. Análisis del descargo

Observación No. 1. Los resultados de los estudios hidrológicos e hidráulicos realizados pueden no ser representativos del proyecto debido a la información base utilizada y el alcance de las metodologías empleadas.

Descargo

Con respecto a esta observación, en caso de que no sean representativas indicar donde no lo son.

Análisis del descargo

Se debe indicar que la duda de la representatividad se explica dentro del contenido de la observación, principalmente por los métodos utilizados y los datos base (como ubicación de cuencas o la topografía utilizada). También se permite dudar sobre la representatividad de los estudios debido a las inconsistencias y falta de justificación técnica encontradas en los estudios analizados. Llama la atención esa consulta por parte de la Unidad Ejecutora ya que posterior a formulación de esta inquietud por parte de esta Auditoría Técnica se realizaron estudios adicionales que se realizaron a los ríos Aguas Claras y San Miguel en los cuales las situaciones planteadas en esta observación son subsanadas. La observación se mantiene.

Observación No. 2. La estructura de pavimento diseñada puede ser insuficiente para soportar las cargas de tránsito que circularán sobre ella debido a que no se consideró el cambio en las condiciones de operación de la vía por el impacto que generan otros proyectos viales sobre ésta.

Descargo

La condición original establecida en el Contrato, se consideró un Tránsito Promedio Diario (TPD) proyectado para el año 2012 (Anexo 3 del Alcance de las Obras), a pesar de esta indicación, esta Unidad Ejecutora RN-32, considerando el tiempo transcurrido desde la firma del Contrato y el inicio del mismo, recomendó utilizar los valores más actualizados que disponía la Administración en ese momento, por lo que se acordó adoptar los datos de tránsito publicados por el MOPT para el 2016, información con la que diseñarán las estructuras de pavimento y se realizarán los informes respectivos del Proyecto, esto de acuerdo con el Consenso Técnico No. 10.



 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	

Por lo que se utilizaron los valores más actualizados posibles y oficiales en el momento del inicio del Contrato. Al realizar un nuevo estudio, considerando la apertura de la nueva Terminal de Contenedores de Moín, la Carretera Vuelta Kooper – Chilamate (RN-4) y el puerto fronterizo de Tablillas, hubiese generado una modificación contractual y costos adicionales por tal análisis no contemplado en los documentos contractuales.

Análisis del descargo

A pesar de los argumentos presentados por la Unidad Ejecutora, se considera que para un proyecto como la ampliación de la Ruta 32 se debe realizar un estudio de tránsito como lo contempla el oficio DVP-23-18-0029 de la Dirección de Diseño de Vías y Puentes del CONAVI. La observación se mantiene ya que observación el objetivo de la misma es resaltar oportunidades de mejora dentro del proyecto basado en las mejores prácticas de la ingeniería.

Observación No. 3. No se evidenció un análisis técnico económico para seleccionar la alternativa de solución para la estructura de pavimento a rehabilitar y en el ensanche de la vía.

Descargo

En el oficio UE-DRA-RN32-002-2017-371 no se indica lo que se señala en esta Observación No. 3, ya que el mismo solo hace entrega de varios documentos solicitados por ese Laboratorio, pero es congruente con la realidad de este tema, esta Unidad Ejecutora RN-32 fue creada cuando todo este proceso de negociación y definición del alcance de las obras fue efectuado; se formó parte del proceso de Contrato, formado por parte del equipo de la Administración para la emisión de varias Adendas al Contrato, pero no así en la definición de las obras y alternativas a considerar en el proyecto.

Efectivamente en el Expediente del proyecto no consta algún análisis respecto al tipo de estructura de pavimento más adecuado para el proyecto. La única referencia al tipo de estructura de pavimento que se ha encontrado consta en el Estudio de Prefactibilidad del proyecto, documento base para la justificación económica, definición y posterior negociación del proyecto, para el análisis económico se consideró tanto para la construcción nueva como para la rehabilitación el desarrollo del proyecto con pavimento asfáltico.

Cuando se incorpora a esta Unidad Ejecutora RN-32 en el proyecto, todas esas definiciones, acuerdo, negociaciones, alcances y especificaciones ya habían sido pactadas y acordadas entre ambos Gobiernos y entre el CONAVI y el Contratista definido en el Contrato de Préstamo y en la Ley 9293.

Así las cosas, cualquier modificación que se hubiese dado, hubiese generado gastos adicionales y tiempos adicionales, situación que no era beneficiosa para la Administración ni para el país ni para el proyecto, ya que se atrasaría un tiempo más el inicio de las obras y se hubiera corrido el riesgo de perder la fuente de financiamiento.



 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

Suponemos que la observación se emite como recomendación para la Administración a fin de que en futuros proyectos se tome en cuenta este aspecto.

Análisis del descargo

Como bien señala la Unidad Ejecutora, en el descargo se entiende que debido a que la incorporación de la Unidad Ejecutora fue posterior a la negociación y definición de la estructura de pavimento, lo anterior sale del alcance de su injerencia. Sin embargo, en aras de buscar la mejora continua de los proyectos viales y que se marque un precedente ante la ausencia de un análisis económico de alternativas para la definición de la estructura de pavimentos óptima en etapas más cercanas a nivel del proyecto, es criterio del Equipo Auditor que la observación se mantiene, pero se resalta el hecho de que la Unidad Ejecutora fue incorporada en una etapa posterior a esta definición.

Finalmente, indicamos que al ser una observación el objetivo de la misma es resaltar oportunidades de mejora dentro del proyecto basado en las mejores prácticas de la ingeniería.

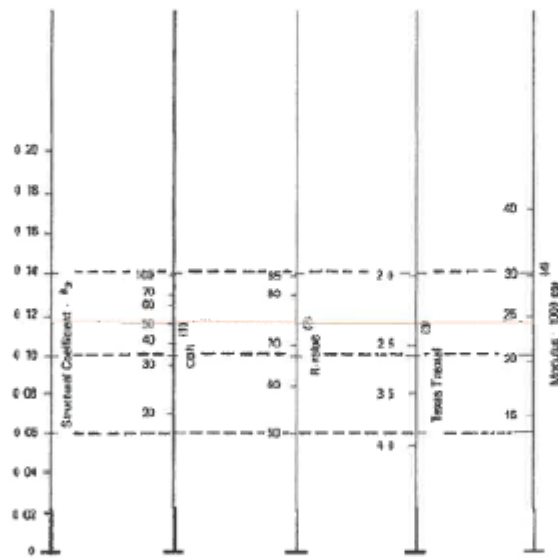
Hallazgo 1. No se presenta evidencia de que los materiales utilizados en la vía hayan sido caracterizados según lo indicado en el "Anexo 5 Especificaciones especiales diseño del pavimento del documento Alcance del Proyecto" Se evidenciaron debilidades en los diseños de pavimentos que podrían generar resultados alejados a las condiciones reales de operación del proyecto.

Descargo

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

R/ Durante la ejecución del Proyecto, se han realizado numerosas caracterizaciones a los materiales utilizados en la construcción de la vía. Uno de los ensayos realizados, es el de Índice de Soporte California, AASHTO T 193 (CBR). Los valores que se han obtenido durante las diversas caracterizaciones realizadas, se encuentran por arriba del 100 % (para los materiales cuyo CBR debe ser mayor al 80%); y por arriba del 50 % (para los materiales cuyo CBR debe ser mayor al 30%).

En los siguientes gráficos (pertenecientes a la Metodología de Diseño de Pavimentos AASHTO 93), se puede realizar la correlación con el Módulo Resiliente de los materiales analizados.



- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
- (4) Scale derived on NCHRP project (3)

Figure 2.6. Variation in Gravel Base Layer Coefficient (a_2) with Various Base Strength Parameters (F)

	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

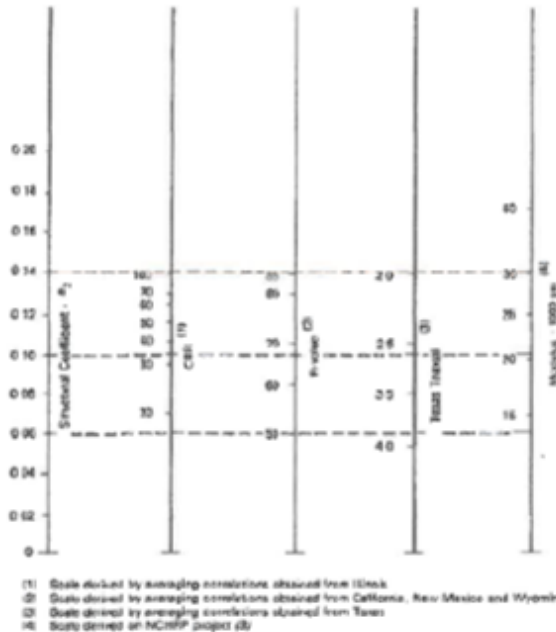


Figure 2.6. Variation in the Gravel Base Layer Coefficient (a_1) with Various Base Strength Parameters (J)

Los Módulos Resilientes utilizados en los diseños de la estructura de pavimento son 15000 psi (CBR mayor a 30) y 28000 psi (CBR mayor a 80). Como se puede observar en los gráficos anteriores, los materiales caracterizados cumplen con los valores mínimos de Módulo Resiliente utilizados en el diseño.

En lo que se refiere al Módulo Dinámico (E^*) de la mezcla asfáltica, es importante destacar en lo indicado en su Informe, que para el coeficiente estructural de mezcla modificada con polímero se recomienda utilizar un valor de 0,54. En los diseños de la estructura de pavimento presentados por el Contratista, se utiliza 0,44, por lo que se cuenta con un espesor de carpeta asfáltica ligeramente mayor al requerido. De ahí que no se ha considerado necesario realizar ensayos del Módulo Dinámico (E^*) a la mezcla asfáltica, ya que el mismo siempre va a tener un valor mayor al supuesto en el Diseño.

Se han realizado ensayos de Grado de Desempeño al asfalto modificado que se ha utilizado en la mezcla asfáltica, obteniéndose un resultado de PG-82. Con esto se demuestra que la modificación del asfalto se ha realizado correctamente.

Análisis del descargo



 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	

El descargo es aportado por el Consorcio Supervisor. Esta observación tiene como objetivo resaltar que la caracterización de los materiales se debe realizar en una etapa previa a la ejecución del proyecto; esto con el fin de reducir la incertidumbre durante el proceso de diseño. Adicionalmente se aclara que el hecho de asumir coeficientes menores a los recomendados no implica que se pueda omitir el ensayo de módulo dinámico, ya que esta propiedad es inherente de cada mezcla asfáltica y según el criterio del Equipo Auditor para un proyecto de esta importancia es un ensayo necesario como lo indica las especificaciones del proyecto. De forma similar con la modificación del asfalto que a pesar de que ha dado en algunos casos PG-82, esto no implica que se pueda omitir el ensayo de modulo dinámico. El Hallazgo se mantiene.

Observación 4. Se evidenciaron debilidades en el diseño de pavimentos de las rehabilitaciones que podrían generar resultados alejados a las condiciones reales de operación del proyecto.

Descargo: Para el Diseño de Pavimento, se contó con la colaboración de la Dirección de Ingeniería del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, al cual mediante el oficio UE-DRA-RN32-002-2017-375 (46) de fecha 22 de noviembre de 2017, se le entregaron los diseños del proyecto para analizar el mismo y contar con observaciones y/o recomendaciones al respecto.

De igual forma, mediante el oficio UE-DRA-RN32-002-2017-023 de fecha 23 de enero de 2018, se solicitó colaboración a la Dirección de diseño de Vías y Puentes del Consejo Nacional de Vialidad para analizar el diseño de Pavimento presentado.

Además, mediante el oficio UE-DRA-RN32-002-2017-371 de fecha 20 de noviembre de 2017, se solicita al LanammeUCR observaciones y/o recomendaciones al Informe del Diseño de Pavimentos, ya que el mismo se encuentra en revisión. Mediante el oficio UE-DRA-RN32-002-2018-304, de fecha 11 de mayo de 2018, se le recuerda a ese Laboratorio que no se cuenta con observaciones al diseño presentado.

Producto de inicio del contrato del Gestor de Proyecto, mediante el oficio UE-DRA-RN32-002-2018-636, de fecha 14 de agosto de 2018, se solicita la revisión diseño pavimento presentado por CHEC.

En vista de que se considera necesarias las observaciones emitidas por ese Laboratorio al Diseño de Pavimento presentado por CHEC, es que mediante el oficio UE-DRA-RN32-002-2018-779, de fecha 25 de septiembre de 2018, se le recuerda a LANAMME darnos observaciones al diseño de pavimentos enviado.

Mediante nota LM-AT-139-18, de fecha 24 de octubre de 2018, se emitieron las observaciones de ese Laboratorio, mismas que, mediante el oficio UE-DRA-RN32-002-2018-982 de fecha 19 de noviembre de 2018 fueron trasladadas al Contratista para su atención e incorporación en el proceso de Diseño

Como se aprecia, se ha gestionado de la mejor forma la revisión del Diseño de Pavimento presentado, a lo que, luego de analizada toda la información, considerando las observaciones emitidas en su momento, se aprobó el diseño de pavimento presentado, considerando que es el adecuado y cumple con las especificaciones establecidas en el Contrato.



 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

A la fecha nos encontramos depurando el Diseño de pavimento para la rehabilitación del Pavimento existente, para velar por su calidad y buen comportamiento ante las condiciones reales del sitio, en el momento de contar con el mismo, se le estará remitiendo oportunamente.

En el descargo del Consorcio supervisor indican que en el informe se señala un posible sobrediseño de la estructura de pavimento y al ser un proyecto de sumaalzada este sobrediseño no representa un costo adicional para la Administración.

Análisis del descargo

Como señala la Unidad Ejecutora nuestras observaciones fueron presentadas mediante LM-AT-139-18, de fecha 24 de octubre de 2018. En este se mencionan la mayor parte de los aspectos contemplados en la observación.

En cuanto al descargo por parte de la supervisión, en la observación se indica que puede existir un sobrediseño, pero también existen otros aspectos (deflexiones, ausencia de tramos homogéneos, omisiones) que generan incertidumbre sobre la validez de los resultados.

La observación se mantiene.

Observación No. 5. Las soluciones geotécnicas propuestas y los estudios geotécnicos desarrollados para el proyecto se consideran adecuados según las características evaluadas y el alcance del proyecto

Análisis del descargo

No se brinda ningún descargo relacionado con la Observación No. 5, por lo que se mantiene el contenido de esta observación.

Observación No.6. Existen debilidades en las memorias de cálculo realizadas para la evaluación estructural de los puentes existentes de la Ruta Nacional 32.

Descargo

Según lo indicado en el título de la observación No.6, se trata de las memorias de cálculo realizadas para la evaluación estructural de los puentes existentes de la Ruta Nacional 32 y en la tabla 13 se contabilizan 34 estructuras, lo cual supone la totalidad de las estructuras de puentes existentes de este proyecto.

Sin embargo, no se indica que, de la totalidad de las estructuras, en total 9 serán demolidas y por lo tanto serán construidos puentes nuevos y no habrá rehabilitación. Por lo que no hay claridad si la revisión de las memorias de cálculo se refiere a puentes nuevos, puentes rehabilitados o reconstrucción de puentes existentes (aquellos puentes existentes que serán demolidos y se sustituirán por puentes nuevos).

Este proyecto consta de 33 puentes existentes: 24 serán rehabilitados y 9 serán sustituidos por puentes nuevos.



 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	

Es importante que se indique las fechas en que se elaboraron las memorias de cálculo revisadas por el LanammeUCR, dado que todas las memorias de cálculo han pasado por un proceso de revisión ejecutado tanto por la Unidad Ejecutora como por la Unidad Supervisora.

Con respecto a las memorias de cálculo tipo B, según la tabla 14 Puentes elegidos para verificación de memorias de cálculo, se indica que se eligió el puente sobre el río Cuba. Revisando la memoria de cálculo con fecha de setiembre de 2018, se evidencia en los apartados 3.5 y 4.4 las memorias de cálculo de capacidad estructural de los pilotes.

De las estructuras indicadas en la tabla 13, con respecto a las estructuras existentes que oficialmente serán rehabilitadas únicamente el Barbilla y el Chirripó cuentan con cimentación profunda (pilotes). Con respecto a la memoria de cálculo de rehabilitación del puente sobre el río Barbilla, si se evidencia que incluyeron los cálculos estructurales de los pilotes; con respecto al puente sobre el río Chirripó actualmente se está en proceso de revisión de sus memorias de cálculo y obviamente se revisa la inclusión los cálculos estructurales de los pilotes.

Se presentan una serie de observaciones para los diferentes tipos de memorias de cálculo (tipo A, B, C y D), según la clasificación dada en el informe LM-INF-IC-D-00014B-2020, donde se indican omisiones en cuanto a la aplicación de la normativa vigente, en la revisión de los Estados Límites, capacidad estructural de las placas superficiales y pilotes, etc.

Por otro lado, se indica que los resultados de este informe se presentaron el lunes 5 de noviembre del 2018 a la Unidad Ejecutora y la Supervisora del proyecto, y se emitieron a la Unidad Ejecutora del proyecto en el oficio LM-AT-144-18 del 6 de noviembre de 2018.

Según lo indicado en el párrafo anterior, se da a entender que se utilizó información en los procesos iniciales de elaboración de las memorias de cálculo y en revisión inicial por la Administración, por lo que las memorias de cálculo utilizadas para la revisión realizada por el LanammeUCR, no reflejarían todo el proceso de revisión que se ha realizado a la fecha y los productos finales aprobados por la Administración.

Se recomienda la revisión de la documentación oficial con No Objeción de parte de la Administración, misma que cuenta con las revisiones respectivas y la cuál se está implementando en las construcciones de los puentes.

Análisis del descargo

Las memorias son, en efecto, de la evaluación estructural como se indica en el informe. La realización de la revisión de estas memorias, a pesar de no ser las finales, tenía como objetivo detectar deficiencias en las mismas en aras de mejorar los procesos. En cuanto al tema de los pilotes no se indica que no se revisaron sino más bien, que la revisión realizada no fue completa. Situación similar se da en la revisión de los Estados Límites, capacidad estructural de las placas superficiales y pilotes.



	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	

En cuanto a la aplicación de la normativa vigente se indica puesto que algunas memorias fueron realizadas con el Manual especificaciones estándar en lugar del Manual LRFD. La observación se mantiene.

Observación No. 7. Se evidenciaron oportunidades de mejora en el diseño geométrico del proyecto.

Descargo


En cuanto al diseño geométrico, mediante el oficio UE-DRA-RN32-002-2016-010 de fecha 19 de mayo de 2016, y de acuerdo al Artículo No. 5 de la Ley No. 9293, se solicitó a ese Laboratorio formar parte del equipo para la revisión de los diseños del proyecto, a lo que se nos informó del inconveniente en la participación en el proceso de revisión por parte de su representada.

Sin embargo, esta Unidad Ejecutora RN-32 contó con la colaboración de la Dirección de Ingeniería del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, al cual, mediante oficio UE-DRA-RN32-002-2017-376 (46) de fecha 22 de noviembre de 2017, se solicitó la colaboración en la revisión de los diseños presentados.

Además, esta Unidad Ejecutora RN-32 se realizó la contratación del consultor individual como Ingeniero Vial para apoyar al Director de Carretera de la Unidad Ejecutora en la revisión del diseño ejecutivo y en el seguimiento de la ejecución del Proyecto: "Diseño, Rehabilitación y Ampliación de la Ruta Nacional N° 32 Carretera Braulio Carrillo, Sección Intersección Ruta Nacional N° 4 (Cruce a Sarapiquí) – Limón", contratando al Ingeniero Roberto Quirós Rodríguez para que nos colabore en la revisión de los diseños geométricos que considere pertinente esta Unidad Ejecutora RN-32. De igual forma, se ha contado con los servicios del Gestor de Proyecto para la revisión de los diseños geométricos.

En general, se ha exigido el cumplimiento de la normativa vigente, incluyendo el CR-2010, el SIECA, lo establecido en los documentos contractuales y a las buenas prácticas de la ingeniería, entre otros, para la revisión y aprobación de los diseños geométricos presentados.



 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

A pesar de que, por sus características y funcionalidad, la Ruta Nacional No. 32 se debe considerar como una Arterial Rural (AR), de acuerdo al Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA, 2011, que en adelante se denominará Manual SIECA 2011, algunos requerimientos para este tipo de carretera no se pueden cumplir, principalmente porque no habrá un control total de los accesos a la vía principal y una disponibilidad adecuada del derecho de vía existente, que de lo contrario requerirá de numerosos y largos procesos de expropiación. Debido a lo anterior, se establecieron las siguientes consideraciones para el diseño geométrico del proyecto, con el fin de establecer un balance adecuado entre la funcionalidad y la seguridad vial del proyecto, dentro de las cuales se tienen como las más relevantes las siguientes:

1. Excepto para el Tramo IV, donde la velocidad de diseño es de 80 km/h para todo el tramo, con características urbanas en la mayor parte de su trazado y que probablemente será completamente urbano a mediano plazo, en los demás tramos se estableció como velocidad de diseño de 80 km/h en el paso por los diferentes intercambios (IC y PSV), en los retornos y en el carril externo en los tramos abiertos. En el carril interno de los tramos abiertos la velocidad de diseño es de 100 km/h. Lo anterior resulta congruente y conveniente con el hecho de no tener un control total de los accesos a la vía principal.
2. El ancho de los espaldones internos adyacentes a la barrera tipo New Jersey es de 0,70 metros y el ancho mínimo de los espaldones externos es de 1,80 metros, lo cual fue establecido contractualmente y está más acorde con la velocidad de 80 km/h en el carril externo desde el punto de vista de la seguridad vial. Si la velocidad de diseño se estableciera en 100 km/h para los carriles principales habría que usar hombros externos de 2,50 metros de ancho, lo cual, además del aspecto contractual requería de gran cantidad de expropiaciones y un costo adicional no previsto en el contrato original.

Por lo tanto, tomando en cuenta lo expresado en los tres últimos párrafos de la Observación No. 1 y el aspecto relacionado con el control de los accesos y posibles expropiaciones, se considera conveniente y adecuado el establecer una velocidad de diseño de 100 km/h en los tramos abiertos para los carriles principales internos y de 80 km/h para los carriles principales externos, con espaldones (hombros) externos de 1,80 metros de ancho.



 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

De acuerdo a la respuesta dada a la Observación No. 1, en terreno aproximadamente horizontal, la longitud de los carriles de cambio de velocidad debe diseñarse para una velocidad de 80 km/h y una velocidad inicial o final de 40 km/h, lo cual genera los siguientes resultados:

Longitud de carril de aceleración: 145,00 metros
 Longitud de la transición: 90,00 metros
 Longitud de carril de desaceleración: 100,00 metros
 Longitud de la transición: 75,00 metros

En algunos casos para la transición del carril de desaceleración se usa una longitud de 55,00 metros, lo cual está permitido según lo establecido en el segundo párrafo de la página 10-116 del Manual de AASHTO 2011, el cual se presenta más adelante. Dicha longitud se está usando en la transición del carril de desaceleración de algunos accesos a la vía principal, que por su importancia se consideró deben contar con carriles de cambio de velocidad. La longitud de transición para los carriles de aceleración en estos casos sí se mantuvo de 90,00 metros.

Reproducido del Manual AASHTO 2011:

The taper portion of a parallel-type deceleration lane should have a taper of approximately 15:1 [longitudinal:transverse]. A long taper indicates the general path to be followed and reduces the portion of the deceleration lane. However, a long taper tends to entice the through driver into the deceleration lane. A short taper produces a better "target" to the approaching driver, giving a positive indication of the added lane ahead.

De donde se desprende que:

Longitud de transición = $15 * 3,60 = 54,00 \text{ m} \approx 55,00 \text{ metros}$

Es necesario comentar que la velocidad de diseño en las rampas es de 40 km/h (ubicada en el rango inferior de acuerdo al Cuadro 6.2 Velocidades de Diseño de las Rampas en Función de las Velocidades de Diseño de la Carretera, en km/h, SIECA 2011) está dentro de lo permitido, de acuerdo a las consideraciones anteriores, pero la velocidad deseable debería ser de 50 km/h. Por motivo de los consensos técnicos acordados entre CONAVI y CHEC, el valor aprobado fue de 40 km/h, lo cual adquiere de esa forma un carácter contractual, por lo que dicho valor se ha usado desde el inicio de los diseños.

Con respecto a la altura libre que debe existir en los cruces a desnivel, se estableció un valor para diseño de 5,10 metros, el cual se objeta ya que SIECA 2011 recomienda un valor de 5,50 metros. De acuerdo a la *Tabla 2-1a Dimensiones de los vehículos de Diseño, de AASHTO 2011*, la altura máxima de un vehículo pesado es de 4,11 metros, lo cual da un margen suficiente de aproximadamente de 1,00 metro para un futuro recarpeteo, que, de acuerdo a las prácticas actuales de intervención, podrá realizarse solo una vez para este tipo de vía. Cuando ya se agote la vida útil del pavimento, lo recomendable es una rehabilitación en la cual se remueven las capas superiores de la estructura existente, reemplazándolas por nuevas capas, con lo cual se limita una elevación desproporcionada de la rasante con la consecuente reducción de la altura libre inicial. Por lo tanto, aunque SIECA



 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	

recomienda un valor de la altura libre de 5,50 m, el valor de 5,10 m se considera también adecuado y seguro.

Análisis del descargo

Con respecto al descargo de la observación del diseño geométrico, se indica que el Equipo Auditor comprende que la cantidad de accesos puede ser una limitante para cumplir con la denominación de Arteria Rural para la Ruta auditada sin embargo no se comparte que haya una disminución de la velocidad de diseño en los carriles externos a 80 km/h ya que la velocidad contratada para la vía es de 100 Km/h según lo indicado en el memorándum de acuerdo.

Situación similar sucede con el tema de las transiciones de carril de desaceleración, la postura del LanammeUCR es que los parámetros geométricos deben ser calculadas a partir de los 100 km/h. Aunque exista una velocidad que fue negociada posteriormente por la Administración y el contratista existe una disminución del estándar vial de la carretera debido a este cambio.

Con respecto a la altura libre indicamos que es fundamental respetar la altura libre indicado en SIECA considerando que la Ruta Nacional 32 es parte de la red vial estratégica y considerando que toda la carga del puerto debe pasar por este punto.

Finalmente, indicamos que al ser una observación el objetivo de la misma es resaltar oportunidades de mejora dentro del proyecto basado en las mejores prácticas de la ingeniería.

Observación No. 8. El diseño del concreto autocompactable de pilotes no se ajustó a los parámetros y ensayos mínimos que deben realizarse para este tipo de concretos según la normativa establecida en el Manual ACI 237R.

Descargo

Esta observación fue respondida en reunión llevada a cabo con Lanamme, Conavi y Supervisión en febrero 2019 y a través de oficio CSRN32-03.01 2019.

Para el concreto de pilotes el método de diseño especificado en CR2010 se indica en la sección 565.07 Pilotes pre-excavados colados in situ, esta a su vez refiere a la sección 552 del manual CR2010 que establece el método ACI 318. Se aclara que los valores ACI237R de parámetros de mezcla de concreto para pilotes mostrados en informe de Lanamme son incorrectos ya que en el cálculo se omiten el volumen de aire y aditivo los que forman parte de la pasta y del mortero según lo define ACI237R. Similar ocurre con la relación agua cemento que se calcula en base al agua total, en realidad debe calcularse con el agua libre y resulta en 0,39 (menor que el máximo especificado de 0,45). El oficio CSRN32-03.01 2019 referido en el informe contiene las revisiones, explicaciones y cálculos mencionados. Vale mencionar que los rangos volumétricos mostrados en ACI 237R son valores sugeridos (no especificados) y se evalúan a partir de las mezclas in campo y los resultados de acabado de los elementos colados.

Análisis del descargo



 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	

A pesar de que se concuerda con la Unidad Ejecutora y la Supervisora en el entendido que el ACI 237 no es la norma de referencia sino el CR-2010; sin embargo, esto no quiere decir que el diseño de mezcla de concreto no presente errores de concepto en su metodología que hayan generado un desempeño en sitio distinto al señalado por la Administración en su informe. Lo anterior debido a que, si se consideró el uso de un concreto autocompactable, se pudo haber considerado especificaciones especiales para implementar este material al proyecto, como lo dicta la normativa internacional, por lo cual la observación se mantiene.

Con respecto a la relación agua/cemento se debe considerar el agua libre y no el agua absorbida dentro de la relación por lo que se mantiene el valor de 0.482 en la relación agua cemento. Con respecto a la fracción de pasta se considera válido el argumento por parte de la Supervisora y se corregirá el valor al igual que la fracción de mortero que sigue estando fuera de los límites sugeridos.

Finalmente, se dejará en la redacción más claro que los parámetros señalados en la observación son recomendaciones del Manual ACI 237 y no valores especificados.

Hallazgo No. 2. Se evidenciaron prácticas y procedimientos que se alejan de lo establecido en la normativa para el correcto muestreo de concreto fresco y medición de sus propiedades.

Descargo

R/ La práctica normal del laboratorio para el manejo de los especímenes de concreto es cubrirlos con plástico para evitar la pérdida de humedad. El caso de la fig.15 del Informe (correspondiente a colada de concreto en Río Toro 24 enero 2019) se puede notar que parte del plástico de protección está removido a un lado de los cilindros, mientras otra parte de los cilindros cuentan con la protección plástica. Es posible que en casos puntuales (como el de la fig.15, especímenes del puente Río Toro Amarillo, 24/01/2019) hubo anomalías causadas por agentes externos (personas ajenas al proyecto, viento). Esto se trata de evitar en la medida de lo posible. A pesar de esos casos puntuales, consideramos que el manejo de los especímenes ha sido el correcto, lo que se evidencia de los resultados de ensayos a compresión que en general muestran consistentemente valores muy aproximados a los esperados según diseños. En el caso particular de la figura 15, la resistencia a 28 días fue de 689 kg/cm², muy por encima de lo solicitado (280 kg/cm²).

La figura 15 también refiere a segregación/exudación en los especímenes, en los que la etiqueta de papel para identificación se muestra humedecido en la cara superior de las muestras.

Los técnicos de laboratorio usan etiquetas de papel para identificar las muestras frescas, al momento de colocarla, la etiqueta es humedecida para que esta se adhiera al concreto del espécimen. Además, en este tipo de mezclas de concreto de alto revenimiento con uso de aditivos, es normal que se forme una película muy delgada de pasta en la superficie del espécimen.



 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

- **Medición del asentamiento y del flujo del concreto fresco de pilotes**

Discrepamos de lo planteado en el informe sobre la medición de asentamiento, su aplicabilidad y validez. Recalamos que el método especificado en CR2010 es el de asentamiento (sección 565.07 Pilotes pre-excavados colados en sitio. No obstante, en el proyecto se ha implementado para el concreto de pilotes, junto a la medición de asentamiento, la medición del flujo, esta información se incluye en cada informe de laboratorio presentado.

Notamos además que el párrafo citado por Lanamme en su informe sobre la norma especificada para asentamiento, ASTM C143 y su limitación de aplicabilidad, refiere a asentamientos superiores a 230mm, en el caso del concreto de pilotes el asentamiento máximo es 225mm. Por otro lado, la fig. 16 del informe muestra una fotografía de medición de asentamiento en colada de pilote en Puente Corinto 24 enero 2019 indicando como segregación la parte central del material revenido. Aclaremos que en el ensayo de asentamiento esa parte no corresponde a segregación, sino al cúmulo de material objetivo del ensayo de asentamiento.

Las respuestas a cada una de las observaciones a los ensayos emitidas por Lanamme desde febrero 2019 han sido respondidas en oficio CSRN32-0301 2019, con fecha 28 de febrero 2019 y atendidas diligentemente, apegándose a lo indicado en las diferentes normas de ensayo.

Análisis del descargo

Con respecto al tema del almacenamiento, aunque la situación no se volvió a evidenciar por parte del Equipo Auditor, se mantiene en el informe debido a que esta situación fue presenciada y documentada por parte del Equipo Auditor durante una gira al proyecto.

Con respecto al tema del asentamiento, a pesar de que en efecto en el CR -2010 no se especifica el concreto autocompactable, el concreto evaluado según el diseño de mezcla aportado se definía como autocompactante por lo cual el uso de esta prueba no era la adecuada para este tipo de concreto.

Con respecto a la placa utilizada, sí se considera que la placa es lisa, plana, rígida y no absorbente, pero no se considera adecuada ya que por la fluidez del concreto se salía de la placa. Sin embargo, se elimina del informe que no cumple con la norma ASTM C143.

Con respecto a la fecha de la foto, en efecto es fecha de 24 de enero como se indica en el informe preliminar pero el puente es el Toro Amarillo por lo que será modificado en el informe final.

Con respecto a la toma de temperatura se indica que ya había sido eliminado el tema de la calibración de la termocupla desde la recepción del oficio 19-DRA-RN32-009-2019-276. Sin embargo, el resto del contenido del hallazgo en este apartado se mantiene.



 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	

Hallazgo No. 3. Los parámetros de temperatura de colocación y resistencia a la compresión se encuentran dentro de los límites especificados salvo casos muy puntuales en las distintas categorías de concreto utilizados en el proyecto. En el caso del asentamiento del concreto se observa en general una gran dispersión.

Descargo

R/ La dispersión mostrada en la figura 23 es en parte porque en el informe se grafican resultados de asentamiento del concreto de alcantarillas junto con cunetas y obras misceláneas (cunetas revestidas, cunetas zampeadas, bordillos, bloques de anclaje para tubos de agua potable) que por su naturaleza requieren revenimientos más bajos al de las demás estructuras.

Efectivamente hay cierta dispersión en los valores de asentamiento, sobre todo al inicio del proyecto, aunque menos marcada a la mostrada en la figura del informe Lanamme. Se entiende que Lanamme señale el aspecto de dispersión de asentamientos de los diferentes concretos y sus implicaciones (segregación o falta de trabajabilidad según el caso).

Vale mencionar que, de las inspecciones visuales para recepción de cada elemento, la necesidad de reparaciones debidas a esas causas ha sido mínima, lo que indica que no se espera deficiencias en el desempeño del concreto.

En el caso de pilotes, donde no es posible inspeccionar visualmente al estar estos enterrados, se realiza en cada pilote el ensayo de integridad mediante ondas ultrasónicas (ASTM D6760 Cross Hole Sonic Logging). Los resultados de los ensayos cross hole no han mostrado indicios de segregaciones, ni oquedades. Se han detectado intrusiones de lodo en la cabeza de pilotes, esto es reparado posteriormente e inspeccionado de manera visual.

Al 23 de diciembre 2020 se han analizado con ensayo cross hole un total de 496 pilotes de 1,00m a 1,50 m de diámetro y longitudes variables desde 8m a 47m para un total de 12650 m lineales de pilotes. La velocidad de onda medida en el concreto de pilotes oscila los 3700 – 4000 m/s, evidenciando un concreto de calidad, consistente con los resultados de resistencia a la compresión que promedia 550 kg/cm² a 28 días.

Análisis del descargo

En cuanto a los diferentes revenimientos o asentamientos que se usan en obras misceláneas se indica que durante el proceso de ejecución se aportaron diferentes diseños de mezcla tanto para Rama 1, Rama 2 y los contratistas nacionales, los cuales se utilizaron para analizar los distintos parámetros del concreto fresco. Si se requerían asentamientos distintos para el concreto de obras misceláneas, es criterio del Equipo Auditor que se deberían realizar diseños adicionales. En cuanto a los procedimientos para verificar que el concreto no presente segregación, parecen adecuados por parte del Equipo Auditor, sin embargo, al no cumplir con los parámetros de asentamiento, el riesgo se mantiene como se indica en el informe. Con respecto a la resistencia del concreto, al realizar el análisis estadístico los lotes se encuentran dentro de los límites de la especificación como lo indica el informe. El Hallazgo se mantiene.



 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

Hallazgo 4. Los parámetros del acero de refuerzo evaluado por el LanammeUCR se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma ASTM A 706, a excepción de la elongación de las varillas en donde se evidenciaron unos incumplimientos puntuales en varillas.

Descargo

R/ Actualmente en el proyecto, además de contar con la información de los certificados de calidad de las varillas, se realizan aleatoriamente muestreos y ensayos conjuntos de los diferentes diámetros, los resultados obtenidos han cumplido con los parámetros especificados. Para mejorar el monitoreo de las varillas se procederá a realizar ensayos con mayor frecuencia.

Según indica el informe de LANAMME, en general el acero de refuerzo cumple lo especificado, salvo algunos casos puntuales de varillas de menor diámetro en los que no se cumple con la elongación mínima. Cabe señalar que las varillas de menor diámetro se utilizan principalmente en los estribos de los elementos, los que trabajan como elementos para esfuerzos cortantes.

Análisis del descargo

De acuerdo con lo indicado por el consorcio supervisor, en este caso se agregará que las varillas de menor diámetro son utilizadas para los estribos los cuales trabajan para esfuerzos cortantes.

	Nombre y Puesto	Firma	Fecha
Preparó:	Ing. Francisco Fonseca Chaves Auditor Líder	FRANCISCO FONSECA CHAVES (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por FRANCISCO FONSECA CHAVES (FIRMA) Fecha: 2021.02.15 15:47:13 -06'00'</small>	04/02/2021
Revisó:	Ing. Mauricio Picado Muñoz Auditor Adjunto	MAURICIO ESTEBAN PICADO MUÑOZ (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por MAURICIO ESTEBAN PICADO MUÑOZ (FIRMA) Fecha: 2021.02.15 08:42:43 -06'00'</small>	10/02/2021
	Ing. Sergio Guerrero Aguilera Auditor Adjunto	SERGIO ANDRES GUERRERO AGUILERA (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por SERGIO ANDRES GUERRERO AGUILERA (FIRMA) Fecha: 2021.02.16 14:11:34 -06'00'</small>	11/02/2021
	Ing. Luis Carlos Alfaro Auditor Adjunto	LUIS CARLOS ALFARO MONGE (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por LUIS CARLOS ALFARO MONGE (FIRMA) Fecha: 2021.02.16 12:01:08 -06'00'</small>	10/02/2021
Aprobó:	Ing. Wendy Sequeira Rojas, M.Sc. Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica	WENDY SEQUEIRA ROJAS (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por WENDY SEQUEIRA ROJAS (FIRMA) Fecha: 2021.02.16 08:03:21 -06'00'</small>	10/02/2021