



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica LanammeUCR

Informe EIC-Lanamme-INF-0107-2023

Informe de Auditoría Técnica

Evaluación de la gestión de calidad de los materiales para pavimentos utilizados en el proyecto: Rehabilitación y Ampliación de Ruta Nacional No. 32, Carretera Braulio Carrillo, Sección Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce a Sarapiquí)-Limón.

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica LanammeUCR

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



San José, Costa Rica

Agosto, 2023



1. Informe final EIC-Lanamme-INF-0107-2023	2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Evaluación de la gestión de calidad de los materiales para pavimentos utilizados en el proyecto: Rehabilitación y Ampliación de Ruta Nacional No. 32, Carretera Braulio Carrillo, Sección Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce a Sarapiquí)-Limón.	4. Fecha del Informe Agosto 2023
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440	
6. Notas complementarias N/A	
7. Resumen <p>El Informe de Auditoría Técnica EIC-Lanamme-INF-0107-2023 recopila hallazgos y observaciones sobre la auditoría externa ejecutada en el proyecto “Rehabilitación y Ampliación de Ruta Nacional No. 32, Carretera Braulio Carrillo, Sección Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce a Sarapiquí)-Limón”, específicamente relacionados con la evaluación y la gestión de la calidad de los materiales utilizados para la construcción de la estructura de pavimentos como la base estabilizada con cemento, el ligante asfáltico y la mezcla asfáltica en el periodo comprendido entre enero 2020 y agosto 2022.</p> <p>En específico sobre la base estabilizada se identificaron incumplimientos en el límite superior de la resistencia a la compresión, con aproximadamente un 25 % de las muestras por encima de la especificación. Asimismo, se identificó que el Contratista incluyó el uso de un aditivo retardante de fragua para la base estabilizada producida en el sector de Rama 1 sin cuantificar mediante un documento de diseño actualizado su efecto en la resistencia del material, contrario a lo indicado por el certificado del fabricante del aditivo.</p> <p>Por su parte sobre el ligante asfáltico, se identificó en las muestras obtenidas por el LanammeUCR que estas presentan una tendencia al cumplimiento en las pruebas de recuperación elástica y punto de ablandamiento las cuales buscan esbozar el efecto del agente modificante del ligante asfáltico. Mientras que, en las pruebas de clasificación por grado de desempeño (PG), se identificaron algunos incumplimientos de la temperatura superior del PG establecida por el diseño de mezcla asfáltica, lo cual puede provocar un comportamiento mecánico distinto al proyectado para ese material.</p> <p>En cuanto a la mezcla asfáltica, se identificaron incumplimientos en parámetros volumétricos tanto para la mezcla con tamaño máximo nominal de 19,0 mm como la de 12,5 mm. Por su parte, sobre la estructura granulométrica, se evidenció que para ambos tipos de mezcla existe una tendencia a ubicarse dentro de los límites de tolerancia establecidos. En cuanto al desempeño del material, no se identificaron incumplimientos en las pruebas que evalúan la deformación permanente, sin embargo, para las pruebas de fatiga se detectaron incumplimientos, donde para las mezclas de 19,0 mm únicamente una muestra satisface el requerimiento contractual. Finalmente, con base en los informes de verificación de calidad se detectó que para algunos ensayos de la mezcla y ligante asfáltico se realizaron menos pruebas que las requeridas en el plan de verificación de calidad. Lo cual puede limitar la posibilidad de identificar deficiencias y cuantificar apropiadamente la calidad del material.</p>	



8. Valoración de resultados:

(En el anexo A2 se describe el proceso realizado por el Equipo Auditor para desarrollar esta valoración)

	Hallazgo/observación	Prioridad de atención
Hallazgo 1	A partir de resultados de la Supervisión y del LanammeUCR, se identificaron algunos incumplimientos de resistencia en la base estabilizada, con un 25 % de las muestras que presentan resistencias por fuera del rango de tolerancia establecido contractualmente según datos de la supervisión.	
Observación 1	Se evidenció que el contratista incluyó el uso de un aditivo retardante de fragua en la producción de la base estabilizada sin actualizar el diseño de mezcla del material.	
Hallazgo 2	Se evidenció el cumplimiento en los parámetros de control de calidad de punto de ablandamiento y el porcentaje de recuperación elástica en la mayoría de las muestras del asfalto modificado a excepción de las muestras tomadas el 19 de enero del 2021 y 08 de junio del 2021.	
Hallazgo 3	Se evidenciaron incumplimientos en muestras aleatorias de ligante asfáltico modificado respecto al grado de desempeño alto requerido para el proyecto.	
Hallazgo 4	Se identificaron incumplimientos en algunos parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con TMN de 19,0 mm y de 12,5 mm a partir de los resultados obtenidos por el laboratorio de verificación de la calidad y el LanammeUCR.	
Hallazgo 5	Se identificó que la estructura granulométrica de las muestras obtenidas por el LanammeUCR y por la Supervisión presentan una tendencia a encontrarse dentro de las tolerancias permitidas por el CR-2010 para cada tipo de mezcla.	



Hallazgo 6	Se evidenció que las muestras tomadas por el LanammeUCR cumplen con los requisitos de desempeño para las pruebas de deformación permanente de Rueda de Hamburgo y APA.	<p>Prioridad de atención</p> <ul style="list-style-type: none"> Muy alta Alta Media Baja 	
Hallazgo 7	Se evidenció que existen muestras de mezcla asfáltica con TMN de 12,5 mm y 19,0 mm tomadas por el LanammeUCR que no satisfacen los requerimientos de fatiga del proyecto.	<p>Prioridad de atención</p> <ul style="list-style-type: none"> Muy alta Alta Media Baja 	
Hallazgo 8	Se determinó que existen incumplimientos en la frecuencia de ejecución de ensayos realizados por el laboratorio de verificación relacionados con el ligante asfáltico y el desempeño de la mezcla asfáltica según el plan de verificación de la calidad aprobado.	<p>Prioridad de atención</p> <ul style="list-style-type: none"> Muy alta Alta Media Baja 	
9. Palabras clave Auditoría Técnica, Ruta 32, Mezcla Asfáltica, Base Estabilizada, Ligante Asfáltico, Calidad.		10. Nivel de seguridad: Ninguno	11. Núm. de páginas 101



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Evaluación de la gestión de calidad de los materiales para pavimentos utilizados en el proyecto:
Rehabilitación y Ampliación de Ruta Nacional No. 32, Carretera Braulio Carrillo, Sección
Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce a Sarapiquí)-Limón.

Departamento encargado del proyecto: Unidad Ejecutora Ruta 32, CONAVI

Supervisión del proyecto: Consorcio Supervisor RN32 CACISA-Camacho Fernández

Laboratorio de verificación de calidad: CACISA

Empresa contratista: CHEC China Harbour Engineering Company

Laboratorio de control de calidad: OJM Consultores de Calidad y Laboratorios.

Monto original del contrato: US \$ 465.593.387,06

Plazo original de ejecución: 42 meses

Plazo actual del proyecto: 83 meses (abril, 2023)

Fecha de inicio del diseño: 14 de diciembre del 2016

Fecha de inicio de la construcción: 20 de noviembre del 2017

Proyecto: Rehabilitación y Ampliación de Ruta Nacional No. 32, Carretera Braulio Carrillo, Sección
Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce a Sarapiquí)-Limón.

Longitud del proyecto: 107,24 km

Director General LanammeUCR:

Ing. Rolando Castillo Barahona, Ph.D.

Asesoría Legal:

Lic. Nidia Segura Jiménez

Lic. Giovanni Sancho Sanz

Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica LanammeUCR:

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

Auditores:

Ing. Alvaro Cerdas Murillo, Auditor Técnico Líder

Ing. Francisco Fonseca Chaves, Auditor Técnico Adjunto

Ing. Diego Herra Gómez, Auditor Técnico Adjunto

Ing. Víctor Cervantes Calvo, Auditor Técnico Adjunto



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN..... 12

OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS 12

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA 13

ALCANCE DEL INFORME 13

ANTECEDENTES 14

METODOLOGÍA 19

AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA EL ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSIÓN PRELIMINAR 21

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO..... 22

RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA..... 23

Sobre la base estabilizada..... 23
Hallazgo No. 1. A partir de resultados de la Supervisión y del LanammeUCR, se identificaron algunos incumplimientos de resistencia en la base estabilizada, con un 25 % de las muestras que presentan resistencias por fuera del rango de tolerancia establecido contractualmente según datos de la Supervisión. 23
Observación No. 1. Se evidenció que el Contratista incluyó el uso de un aditivo retardante de fragua en la producción de la base estabilizada sin actualizar el diseño de mezcla del material. 32

Sobre el ligante asfáltico 37
Hallazgo No. 2. Se evidenció el cumplimiento en los parámetros de control de calidad de punto de ablandamiento y el porcentaje de recuperación elástica en la mayoría de las muestras del asfalto modificado a excepción de las muestras tomadas el 19 de enero del 2021 y 08 de junio del 2021. 37
Hallazgo No. 3. Se evidenciaron incumplimientos en muestras aleatorias de ligante asfáltico modificado respecto al grado de desempeño alto requerido para el proyecto. 42

Sobre la mezcla asfáltica..... 47
Hallazgo No. 4. Se identificaron incumplimientos en algunos parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con TMN de 19,0 mm y de 12,5 mm a partir de los resultados obtenidos por el laboratorio de verificación de la calidad y el LanammeUCR. 48
Hallazgo No. 5. Se identificó que la estructura granulométrica de las muestras obtenidas por el LanammeUCR y por la Supervisión presentan una tendencia a encontrarse dentro de las tolerancias permitidas por el CR-2010 para cada tipo de mezcla. 67
Hallazgo No. 6. Se evidenció que las muestras tomadas por el LanammeUCR cumplen con los requisitos de desempeño para las pruebas de deformación permanente de Rueda de Hamburgo y APA. 73
Hallazgo No. 7. Se evidenció que existen muestras de mezcla asfáltica con TMN de 12,5 mm y 19,0 mm tomadas por el LanammeUCR que no satisfacen los requerimientos de fatiga del proyecto. 79



Sobre la gestión de la calidad en el proyecto 86
Hallazgo No. 8. Se determinó que existen incumplimientos en la frecuencia de ejecución de ensayos realizados por el laboratorio de verificación relacionados con el ligante asfáltico y el desempeño de la mezcla asfáltica según el plan de verificación de la calidad aprobado. .. 86

CONCLUSIONES..... 93

Sobre la base estabilizada 93
Sobre el ligante asfáltico 93
Sobre la mezcla asfáltica 94

RECOMENDACIONES 95

Sobre la base estabilizada 95
Sobre el ligante asfáltico 96
Sobre la mezcla asfáltica 96

REFERENCIAS..... 97

ANEXOS 99

Anexo A.1. Resultados del ensayo AASHTO T321 realizados por la Supervisión..... 99
Anexo A.2. Valoración de resultados 100
Anexo A.3. Descargo del informe preliminar EIC-Lanamme-INF-0107-2023..... 101
Anexo A.4. Análisis del descargo del informe preliminar EIC-Lanamme-INF-0107-2023 . 101



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO DE AMPLIACIÓN DE LA RN NO. 32	22
FIGURA 2. RESUMEN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA PARA LAS MUESTRAS OBTENIDAS POR LA SUPERVISIÓN. FUENTE: INFORMES DE VERIFICACIÓN, CACISA. PERIODO: ENERO 2020 – JUNIO 2022.	25
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE RESULTADOS EN FUNCIÓN DEL RIESGO DE AGRIETAMIENTO PARA EL TRAMO DE RAMA 3 A CARGO DEL SUB-CONTRATISTA HSOLÍS SEGÚN LOS DATOS DE SUPERVISIÓN.	26
FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE RESULTADOS EN FUNCIÓN DEL RIESGO DE AGRIETAMIENTO PARA LOS SECTORES ENCARGADOS AL SUB-CONTRATISTA MECO SEGÚN LOS DATOS DE SUPERVISIÓN.	27
FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE RESULTADOS EN FUNCIÓN DEL RIESGO DE AGRIETAMIENTO PARA EL SECTOR DE CHEC RAMA 2 SEGÚN LOS DATOS DE SUPERVISIÓN.....	28
FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE RESULTADOS EN FUNCIÓN DEL RIESGO DE AGRIETAMIENTO PARA EL SECTOR DE CHEC RAMA 1 SEGÚN LOS DATOS DE SUPERVISIÓN.....	29
FIGURA 7. RESUMEN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA PARA LAS MUESTRAS OBTENIDAS POR EL LANAMMEUCR. PERIODO: ENERO 2020 – JUNIO 2022.	30
FIGURA 8. (A) CAMIONES CON MEZCLA DE BASE ESTABILIZADA EN ESPERA EST. 81+070, (B) BOLETA DE SALIDA DEL CAMIÓN NO. 85. FECHA: 18 DE MARZO DEL 2022	33
FIGURA 9. (A) COLOCACIÓN DE CAMIÓN NO. 78 EN EST. 78+680 LI (B) BOLETA DE SALIDA DEL CAMIÓN NO. 78. FECHA: 29 DE MARZO DEL 2022	34
FIGURA 10. LÍNEA DE TIEMPO SOBRE INCLUSIÓN DE ADITIVO RETARDANTE DE FRAGUA EN LA BASE ESTABILIZADA.	35
FIGURA 11. RESUMEN DE RESULTADOS DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA PARA LOS MUESTREOS DE ASFALTO REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN.	38
FIGURA 12. RESUMEN DE RESULTADOS DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA PARA LOS MUESTREOS DE ASFALTO REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN.	39
FIGURA 13. RESUMEN DE RESULTADOS DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO PARA LOS MUESTREOS DE ASFALTO REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN.	39
FIGURA 14. RESUMEN DE RESULTADOS DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO PARA LOS MUESTREOS DE ASFALTO REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN.	41
FIGURA 15. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO VMA PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 19,0 MM REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: INFORMES DE VERIFICACIÓN, CACISA. PERIODO: JUNIO 2020-JUNIO 2022.	49
FIGURA 16. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO VMA PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 19,0 MM REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. PERIODO JUNIO 2020 – JUNIO 2022.	50
FIGURA 17. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO VFA PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 19,0 MM REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: INFORMES DE VERIFICACIÓN, CACISA. PERIODO JUNIO 2020 – JUNIO 2022.....	51
FIGURA 18. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO VFA PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 19,0 MM REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. PERIODO JUNIO 2020 – JUNIO 2022.	52
FIGURA 19. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO DE CONTENIDO DE VACÍOS PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 19,0 MM REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: INFORMES DE VERIFICACIÓN, CACISA. PERIODO JUNIO 2020 – JUNIO 2022.	53



FIGURA 20. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO DE CONTENIDO DE VACÍOS PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 19,0 MM REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. PERIODO JUNIO 2020 – JUNIO 2022..... 54

FIGURA 21. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 19,0 MM REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: INFORMES DE VERIFICACIÓN, CACISA. PERIODO JUNIO 2020 – JUNIO 2022. 55

FIGURA 22. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO DE CONTENIDO ASFALTO PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 19,0 MM REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022..... 56

FIGURA 23. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA RELACIÓN POLVO/ASFALTO PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 19,0 MM REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: INFORMES DE VERIFICACIÓN, CACISA. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022..... 57

FIGURA 24. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA RELACIÓN POLVO/ASFALTO PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 19,0 MM REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. 58

FIGURA 25. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO VMA PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 12,5 MM REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: INFORMES DE VERIFICACIÓN, CACISA. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022..... 59

FIGURA 26. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO VMA PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 12,5 MM REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022. 60

FIGURA 27. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO VFA PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 12,5 MM REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: INFORMES DE VERIFICACIÓN, CACISA. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022..... 60

FIGURA 28. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO VFA PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 12,5 MM REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022. 61

FIGURA 29. RESUMEN DE RESULTADOS DEL CONTENIDO DE VACÍOS PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 12,5 MM REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: INFORMES DE VERIFICACIÓN, CACISA. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022..... 62

FIGURA 30. RESUMEN DE RESULTADOS DEL CONTENIDO DE VACÍOS PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 12,5 MM REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022. 63

FIGURA 31. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 12,5 MM REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: INFORMES DE VERIFICACIÓN, CACISA. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022. ... 63

FIGURA 32. RESUMEN DE RESULTADOS DEL PARÁMETRO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 12,5 MM REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022..... 64

FIGURA 33. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA RELACIÓN POLVO/ASFALTO PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 12,5 MM REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: INFORMES DE VERIFICACIÓN, CACISA. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022..... 65

FIGURA 34. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA RELACIÓN POLVO/ASFALTO PARA LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA TMN 12,5 MM REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. PERIODO: JUNIO 2020 – JUNIO 2022..... 65

FIGURA 35. RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO REALIZADO POR EL LANAMMEUCR PARA LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE LAS MUESTRAS CON TMN DE 12,5 MM..... 67



FIGURA 36. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO REALIZADO POR EL LANAMMEUCR PARA LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE LAS MUESTRAS CON TMN DE 19,0 MM. 70

FIGURA 37. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO APA PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 19,0 MM PARA LAS MUESTRAS TOMADAS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. . 74

FIGURA 38. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO APA PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 12,5 MM TOMADAS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. 76

FIGURA 39. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO RUEDA DE HAMBURGO PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 19,0 MM TOMADAS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN..... 77

FIGURA 40. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO RUEDA DE HAMBURGO PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 12,5 MM TOMADAS POR EL LANAMMEUCR EN LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN..... 78

FIGURA 41. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXO TRACCIÓN A UN NIVEL DE DEFORMACIÓN DE 400 E-6 MM/MM PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 12,5 MM TOMADAS POR EL LANAMMEUCR DE LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. 80

FIGURA 42. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXO TRACCIÓN A UN NIVEL DE DEFORMACIÓN DE 600 E-6 MM/MM PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 12,5 MM TOMADAS POR EL LANAMMEUCR DE LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. 80

FIGURA 43. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXO TRACCIÓN A UN NIVEL DE DEFORMACIÓN DE 400 E-6 MM/MM PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 12,5 MM TOMADAS POR LA SUPERVISIÓN DE LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. 81

FIGURA 44. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXO TRACCIÓN A UN NIVEL DE DEFORMACIÓN DE 600 E-6 MM/MM PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 12,5 MM TOMADAS POR LA SUPERVISIÓN DE LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. 82

FIGURA 45. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXO TRACCIÓN A UN NIVEL DE DEFORMACIÓN DE 400 E-6 MM/MM PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 19,0 MM TOMADAS POR EL LANAMMEUCR DE LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. 83

FIGURA 46. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXO TRACCIÓN A UN NIVEL DE DEFORMACIÓN DE 600 E-6 MM/MM PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 19,0 MM TOMADAS POR EL LANAMMEUCR DE LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. 83

FIGURA 47. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXO TRACCIÓN A UN NIVEL DE DEFORMACIÓN DE 400 E-6 MM/MM PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 19,0 MM TOMADAS POR LA SUPERVISIÓN DE LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. 84

FIGURA 48. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXO TRACCIÓN A UN NIVEL DE DEFORMACIÓN DE 600 E-6 MM/MM PARA LAS MUESTRAS MAC CON TMN DE 19,0 MM TOMADAS POR LA SUPERVISIÓN DE LAS DIFERENTES PLANTAS DE PRODUCCIÓN. 84

FIGURA 49. LÍNEA DE TIEMPO PARA LAS VERSIONES DE LA NORMA AASHTO T321. 86

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESUMEN DE OFICIOS ENVIADOS A LA ADMINISTRACIÓN DURANTE EL PROCESO DE AUDITORÍA* 15

TABLA 2. PERSONAL PRESENTE EN REUNIÓN DE PRESENTACIÓN DE INFORME PRELIMINAR EIC-LANAMME-INF-0107-2023 DEL 30 DE MAYO DEL 2023. 21

TABLA 3. REQUISITOS DE RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS PARA LA BASE ESTABILIZADA. FUENTE: OM No. 6 24

TABLA 4. RANGOS DE RIESGO DE AGRIETAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA BASE ESTABILIZADA. FUENTE: ARCE, 2011. 26

TABLA 5. RESULTADOS DE RESISTENCIA SEGÚN EL TIPO DE PRODUCCIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA. PERIODO: ENERO 2020 – JUNIO 2022. 31



TABLA 6. INFORMES DE DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO ACTUALIZADOS. FUENTE: CSRN32-0988-2022.....	34
TABLA 7. REQUISITOS PARA EL LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO. FUENTE: CR-2010.....	37
TABLA 8. REQUISITOS PARA EL GRADO DE DESEMPEÑO (PG) ALTO DEL LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO. FUENTE: INFORMES DE DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	42
TABLA 9. CLASIFICACIÓN POR GRADO DE DESEMPEÑO DE MUESTRAS DE LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO TOMADAS POR LA SUPERVISIÓN.....	43
TABLA 10. CLASIFICACIÓN POR GRADO DE DESEMPEÑO DE MUESTRAS ALEATORIAS DE LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO DE RAMA 1 TOMADAS POR EL LANAMMEUCR.....	43
TABLA 11. CLASIFICACIÓN POR GRADO DE DESEMPEÑO DE MUESTRAS ALEATORIAS DE LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO DE RAMA 2 TOMADAS POR EL LANAMMEUCR.....	44
TABLA 12. CLASIFICACIÓN POR GRADO DE DESEMPEÑO DE MUESTRAS ALEATORIAS DE LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO DE RAMA 3 TOMADAS POR EL LANAMMEUCR.....	45
TABLA 13. PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA QUE SE UTILIZAN EN EL PROYECTO SEGÚN CONTRATISTA O SUBCONTRATISTA.....	48
TABLA 14. PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA QUE SE UTILIZAN EN EL PROYECTO SEGÚN CONTRATISTA O SUBCONTRATISTA.....	48
TABLA 15. PORCENTAJE DE MUESTRAS QUE PRESENTAN INCUMPLIMIENTOS DE DIFERENTES PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS.....	66
TABLA 16. LISTADO DE MUESTRAS DE TMN DE 12,5 MM QUE PRESENTAN INCUMPLIMIENTOS EN SU ESTRUCTURA GRANULOMÉTRICA A PARTIR DE DATOS DE LA SUPERVISIÓN.....	69
TABLA 17. LISTADO DE MUESTRAS DE TMN DE 19,0 MM QUE PRESENTAN INCUMPLIMIENTOS EN SU ESTRUCTURA GRANULOMÉTRICA A PARTIR DE DATOS DE LA SUPERVISIÓN.....	71
TABLA 18. RESULTADOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE SEGÚN EL ENSAYO APA DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS POR LA SUPERVISIÓN EN DIFERENTES CENTROS DE PRODUCCIÓN.....	75
TABLA 19. RESULTADOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE SEGÚN EL ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS POR LA SUPERVISIÓN EN DIFERENTES CENTROS DE PRODUCCIÓN.....	78
TABLA 20. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA LA PRUEBA DE FLEXO TRACCIÓN SEGÚN EL TIPO DE MEZCLA. ADAPTADO DEL CR-2010.....	79
TABLA 21. FRECUENCIA DE MUESTREO PARA LA SUPERVISIÓN PARA ENSAYOS DE DESEMPEÑO EN LA MEZCLA ASFÁLTICA Y DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO, RECUPERACIÓN ELÁSTICA Y PG PARA EL LIGANTE ASFÁLTICO. ADAPTADO DEL “PLAN DE MUESTREOS Y ENSAYOS DE LA SUPERVISIÓN”.....	87
TABLA 22. MESES QUE CUENTAN CON MUESTREOS DE MAC CON TMN DE 19,0 MM SEGÚN CENTRO DE PRODUCCIÓN EN EL PERIODO ENERO 2020 – JUNIO 2022 Y MESES QUE CUENTAN CON DATOS DEL ENSAYO DE FATIGA.....	88
TABLA 23. MESES QUE CUENTAN CON MUESTREOS DE MAC DE TMN 12,5 MM SEGÚN CENTRO DE PRODUCCIÓN EN EL PERIODO ENERO 2020 – JUNIO 2022 Y MESES QUE CUENTAN CON DATOS DEL ENSAYO DE FATIGA.....	88
TABLA 24. NÚMERO DE PRUEBAS DE FATIGA REQUERIDAS SEGÚN EL PLAN DE MUESTREO VERSUS EL NÚMERO DE PRUEBAS REALIZADO POR LA SUPERVISIÓN.....	89
TABLA 25. NÚMERO DE PRUEBAS DE APA REQUERIDAS SEGÚN EL PLAN DE MUESTREO VERSUS EL NÚMERO DE PRUEBAS REALIZADO POR LA SUPERVISIÓN PARA LAS MUESTRAS DE MAC DE 19,0 MM.....	89
TABLA 26. NÚMERO DE PRUEBAS DE RUEDA DE HAMBURGO REQUERIDAS SEGÚN EL PLAN DE MUESTREO VERSUS EL NÚMERO DE PRUEBAS REALIZADO POR LA SUPERVISIÓN PARA LAS MUESTRAS DE MAC DE 12,5 MM.....	90
TABLA 27. NÚMERO DE PRUEBAS DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO Y LIGANTE ASFÁLTICO REQUERIDAS SEGÚN EL PLAN DE MUESTREO VERSUS EL NÚMERO DE PRUEBAS REALIZADO POR LA SUPERVISIÓN.....	90
TABLA 28. NÚMERO DE PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN POR PG REQUERIDAS SEGÚN EL PLAN DE MUESTREO VERSUS EL NÚMERO DE PRUEBAS REALIZADO POR LA SUPERVISIÓN.....	91



INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Evaluación de la gestión de calidad de los materiales para pavimentos utilizados en el proyecto: Rehabilitación y Ampliación de Ruta Nacional No. 32, Carretera Braulio Carrillo, Sección Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce a Sarapiquí)-Limón.

INTRODUCCIÓN

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

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

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

OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

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

Para este informe en particular se busca de forma general evaluar la calidad de los materiales utilizados para la estructura de pavimentos y la gestión de estos por parte de la Supervisión dentro del proyecto comprendido en el contrato de: **“Rehabilitación y Ampliación de Ruta Nacional No. 32, Carretera Braulio Carrillo, Sección Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce a Sarapiquí)-Limón”**, lo anterior con el fin de fiscalizar la eficiencia en la gestión y ejecución del proyecto así como el control de los riesgos potenciales a la calidad, desempeño y durabilidad de los diferentes materiales utilizados en el proceso de pavimentación como lo son el ligante asfáltico, la base estabilizada y la mezcla asfáltica, esto en el cumplimiento de



las normas y especificaciones establecidas en el Contrato del proyecto así como con las mejores prácticas de la ingeniería de carreteras requeridas por la obra.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

- Evaluar el cumplimiento de las especificaciones de los materiales utilizados para la construcción de la estructura de pavimentos a partir de muestreos puntuales realizados por el LanammeUCR, de conformidad a la normativa establecida en el Contrato del proyecto y las buenas prácticas de la ingeniería.
- Informar a la Administración sobre los resultados de ensayo que se realicen a los materiales analizados para la construcción de la estructura de pavimentos (base estabilizada, ligante asfáltico y mezcla asfáltica).
- Evaluar y analizar los resultados de ensayos de calidad de Verificación de Calidad del proyecto para determinar conformidad con las especificaciones establecidas en el Contrato del proyecto y las buenas prácticas de la ingeniería.
- Evaluar la gestión de la Administración en el proceso de ejecución del proyecto relacionado con la calidad de los materiales, según las disposiciones contractuales y las buenas prácticas de ingeniería.

ALCANCE DEL INFORME

El alcance del estudio que desarrolla esta Auditoría Técnica, consistió en recopilar todos los hallazgos y observaciones que se evidenciaron durante el periodo de ejecución de la Auditoría relacionadas con la evaluación y gestión de la calidad de los diferentes materiales utilizados en el proceso de pavimentación como el ligante asfáltico, la base estabilizada y la mezcla asfáltica.

La evaluación de la calidad de estos materiales se realizó mediante diferentes muestreos realizados en el plazo de ejecución del proyecto de manera aleatoria y de conformidad con la normativa establecida en el Contrato del proyecto. El periodo de análisis de este informe de Auditoría contempla los meses comprendidos entre enero 2020 y junio 2022 durante la etapa constructiva del proyecto.

Aunado a lo anterior se destaca que, a lo largo de la ejecución de la Auditoría, el Equipo Auditor ha emitido continuamente oficios y notas informes en aras de comunicar oportunamente las evidencias detectadas, por lo cual, en la gestión del proyecto evaluada, se consideró el proceso de documentación y recopilación de la información y oficios remitidos por parte de la Administración y la Supervisión del proyecto.

Respecto a la calidad de los materiales, los hallazgos y observaciones consideraron todas las evidencias recopiladas por el Equipo Auditor con base en los resultados obtenidos, tanto por el laboratorio de verificación como por el LanammeUCR para la base estabilizada con cemento, ligante asfáltico y mezcla asfáltica, así como la revisión de los diseños de materiales y especificaciones contempladas a nivel contractual.



Es importante mencionar que la auditoría técnica que realiza el LanammeUCR, no puede compararse, ni considerarse como una actividad de control de calidad, la cual, le compete exclusivamente al Contratista como parte de su obligación contractual. Tampoco puede conceptualizarse como una labor de verificación de calidad y supervisión que es de entera responsabilidad de la Administración.

ANTECEDENTES

El proyecto auditado corresponde a la “Ampliación de la Ruta 32, sección: Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce de Sarapiquí)-Limón”, la cual se encuentra a cargo de la Unidad Ejecutora Ruta Nacional No. 32 (UE32) del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). Este proyecto forma parte de la Ley No. 9293: Aprobación del financiamiento al proyecto rehabilitación y extensión de la Ruta Nacional No. 32 sección cruce Ruta 4-Limón, en la cual se facultó oficialmente al CONAVI a formalizar el contrato comercial con la empresa China Harbour Engineering Company Ltd. (CHEC) como la empresa designada para la elaboración de diseños y la construcción de las obras. Se debe destacar que, el 18 de febrero del 2013 el CONAVI y la empresa CHEC firmaron el Memorándum de acuerdo, que luego se oficializaría mediante la firma del Contrato entre ambas partes el 03 de junio del 2013.

Para este proyecto en específico, el Contratista a cargo de las labores de diseño y de construcción de las obras en su totalidad corresponde a la empresa China Harbour Engineering Company Ltd. (CHEC), sin embargo, el proyecto fue dividido en tres sectores principales denominados Rama 1 (49+500 al 110+400), Rama 2 (110+400 al 135+200) y Rama 3, este último fue posteriormente subcontratado a dos empresas distintas por parte del Contratista CHEC (Constructora HSolís 135+200 al 144+465 y Constructora MECO 144+465 al 153+500) así como el tramo comprendido entre el 99+880 al 110+400 a Constructora MECO. Por su parte, las empresas CACISA y Camacho Fernández Ingenieros Consultores conforman el consorcio supervisor del proyecto en apoyo a la Unidad Ejecutora.

Asimismo, se destaca que, como parte del proceso de Auditoría Técnica, el Equipo Auditor ha emitido los siguientes informes:

- 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 No4 (Cruce de Sarapiquí)- Limón” (ver informe en: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2201>)
- EIC-Lanamme- INF-0509-2022: “Prácticas constructivas, desempeño y seguridad vial de trabajos ejecutados del proyecto: Ampliación de la Ruta 32, sección: Intersección Ruta Nacional No. 4 (Cruce de Sarapiquí)-Limón” (ver informe en <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2415>)

Se debe destacar que el alcance del informe LM-INF-IC-D-0014-20 abarca el periodo comprendido entre junio 2018 y setiembre 2020, este se enfocó en la evaluación de los estudios preliminares, el análisis de calidad de distintos materiales utilizados a la fecha y la evaluación de algunos procesos de ensayo.



Mientras que el informe EIC-Lanamme- INF-0509-2022 abarca el periodo comprendido entre setiembre del 2020 y agosto del 2022 durante la etapa constructiva del proyecto y se enfoca principalmente en las prácticas constructivas, riesgos a la seguridad vial y desempeño de algunos tramos de pavimento concluidos a nivel de segunda capa asfáltica.

Adicionalmente, 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, durante el desarrollo de este proceso se emitieron aproximadamente 48 oficios y/o notas informe, según contenido de la Tabla 1; en los cuales se trataron temas relacionados con el contenido de este informe y los informes emitidos anteriormente, con el fin de evidenciar situaciones relevantes, identificadas por el Equipo Auditor durante la etapa de ejecución de la Auditoría e informarlos oportunamente a la UE32; de previo a la emisión de este informe.

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

Oficio / Nota informe	Fecha de emisión	Asunto	Oficio de respuesta de la administración
LM-IC-D-0921-20	23/11/2020	Resultado de ensayos a varillas de acero	UE-DRA-RN32-009-2020-2259 (179)
LM-IC-D-1077-2020	04/12/2020	Remisión de informe preliminar LM-INF-IC-D-0014B-2020	UE-DRA-RN32-009-2021-064 (179)
LM-IC-D-1078-2020	07/12/2020	Resultado de ensayos de base estabilizada y mezcla asfáltica	UE-DRA-RN32-009-2021-069 (171)
LM-IC-D-1093-2020	10/12/2020	Colocación de mezcla asfáltica en Rama 1	UE-DRA-RN32-009-2021-065 (171)
LM-IC-D-0016-21	07/01/2021	Observaciones de gira del 17 de diciembre	UE-DRA-RB32-009-2021-141 (171)
LM-IC-D-0031-21	07/01/2021	Respuesta a Oficio DMAT 239-2020	No requiere respuesta
LM-IC-D-0072-2021	28/01/2021	Reubicación de poliducto de RECOPE	UE-DRA-RN32-009-2021-0240 (179)
LM-IC-D-0089-2021	28/01/2021	Resultado de ensayos de base estabilizada y mezcla asfáltica	UE-DRA-RN32-009-2021-0280(171)
LM-EIC-D-0227-2021	16/03/2021	Denuncia sobre el poliducto de RECOPE en la ampliación de la Ruta 32	No requiere respuesta
LM-IC-D-0158-2021	22/02/2021	Envío de informe final "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"	UE-DRA-RN32-009-2021-0678 (179)
LM-IC-D-0154-2021	01/03/2021	Resultado de ensayos de mezcla asfáltica y solicitud de información	Respuesta por correo electrónico
LM-IC-D-0181-21	05/03/2021	Respuestas a consultas planteadas por la Comisión de la Provincia de Limón	No requiere respuesta
LM-IC-D-0090-21	25/03/2021	Resultado de ensayo de regularidad en la primera capa de Mezcla asfáltica	UE-DRA-RN32-009-2021-0680 (171)



Oficio / Nota informe	Fecha de emisión	Asunto	Oficio de respuesta de la administración
LM-EIC-D-0272-2021	26/03/2021	Resultados de ensayos de base estabilizada y colocación de base estabilizada en el proyecto "Rehabilitación y Ampliación de la Ruta Nacional No. 32"	UE-DRA-RN32-009-2021-0677 (179)
LM-EIC-D-0287-2021	05/04/2021	Resultados de ensayos al asfalto en el proyecto "Rehabilitación y Ampliación de la Ruta Nacional N°32"	UE-DRA-RN32-001-2021-0754 (179)
LM-EIC-D-0323-2021	14/04/2021	Resultados de ensayos de mezcla asfáltica y ligante asfáltico modificado en el proyecto "Rehabilitación y Ampliación de la Ruta Nacional N°32"	UE-DRA-RN32-009-2021-0764 (179)
LM-EIC-D-0317-2021	14/04/2021	Resultado de ensayos de base estabilizada, Informe I-0428-2021	UE-DRA-RN32-009-2021-0790(179)
LM-EIC-D-0318-2021	15/04/2021	Resultados de ensayos de base estabilizada y prácticas constructivas en el proyecto "Rehabilitación y Ampliación de la Ruta Nacional N°32"	UE-DRA-RN32-009-2021-0790
LM-EIC-D-0366-2021	29/04/2021	Resultados de muestreo mezcla asfáltica y ligante asfáltico modificado proyecto "Rehabilitación y Ampliación de la Ruta Nacional N° 32"	UE-DRA-RN32-009-2021-0894 (179)
LM-EIC-D-383-2021	02/06/2021	Resultados de ensayo y solicitud de información	CSRN32-0731-2021
LM-EIC-D-0501-2021	16/06/2021	Medidas de protección contra la socavación en puente sobre río Dos Novillos, uso de traba y resultados de asfalto	UE-DRA-RN32-009-2022-092 (179)
LM-EIC-D-0578-2021	05/07/2021	Resultados de ensayos de mezcla asfáltica y núcleos proyecto "Rehabilitación y Ampliación de la Ruta Nacional N° 32"	UE-DRA-RN32-002-2021-1629
LM-EIC-D-0589-2021	14/07/2021	Respuesta consulta sobre singularidades en el proyecto "Rehabilitación y Ampliación de la Ruta Nacional N°32"	No requiere respuesta



Oficio / Nota informe	Fecha de emisión	Asunto	Oficio de respuesta de la administración
LM-EIC-D-0643-2021	04/08/2021	Recomendaciones y observaciones sobre: compactación de mezcla asfáltica bajo lluvia, capacidad hidráulica del drenaje longitudinal, erosión de estructura de pavimento existente y la ampliación, manejo temporal de aguas pluviales, perfilado de carpetas asfáltica en est 121+800 y solicitud de información	UE-DRA-RN32-009-2022-016 (179)
LM-EIC-D-0709-2021	27/08/2021	Intervención de la socavación en puente sobre río Dos Novillos y colocación de base estabilizada	UE-DRA-RN32-009-2022-094 (179)
EIC-Lanamme-831-2021	04/10/2021	Agrietamiento losa del puente sobre el río Reventazón y ausencia de compactación de mezcla asfáltica mediante llanta de hule	UE-DRA-RN32-009-2021-1950 (179)
EIC-Lanamme-997-2021	17/11/2021	Respuesta sobre la no aplicación de ensayos de Fatiga en el proyecto	UE-DRA-RN32-009-2022-018-(171) / UE-DRA-RN32-002-2022-0312
EIC-Lanamme-131-2022	08/03/2022	Resultados de la evaluación de desempeño de las estructuras de pavimento terminados (a nivel de segunda capa) al día 18 de octubre del 2021 en el proyecto "Rehabilitación y Ampliación de la Ruta Nacional N°32"	UE-DRA-RN32-009-2022-0547 (179)
EIC-Lanamme-178-2022	01/04/2022	Solicitud de información y observaciones sobre trabajos de colocación de base estabilizada/mezcla asfáltica los días 24 – 25 de febrero y 17 – 18 de marzo del 2022	UE-DRA-RN32-009-2022-0817 (179)
EIC-Lanamme-88-2022	04/04/2022	Respuesta a oficio UE-DRA-RN32-009-2022-018 (171)	UE-DRA-RN32-002-2022-0312
EIC-Lanamme-349-2022	03/05/2022	Observaciones sobre trabajos de colocación de base estabilizada/mezcla asfáltica y respuesta a oficio UE-DRARN32-009-2022-0547 (179)	UE-DRA-RN32-009-2022-0859 (179)
EIC-Lanamme-386-2022	11/05/2022	Respuesta a oficio UE-DRA-RN32-002-2022-0312	UE-DRA-RN32-009-2022-0877 (179) / UE-DRA-RN32-002-2022-1345



Oficio / Nota informe	Fecha de emisión	Asunto	Oficio de respuesta de la administración
EIC-Lanamme-411-2022	30/05/2022	Remisión de informes de resultados de ensayos de mezcla asfáltica y ligante asfáltico del proyecto "Rehabilitación y Ampliación de Ruta Nacional N° 32, Carretera Braulio Carrillo, Sección Intersección Ruta Nacional N° 4 (Cruce a Sarapiquí) - Limón" y respuesta a UE-DRA-RN32-009-2022-0817 (179)	UE-DRA-RN32-009-2022-0992 (179)
EIC-Lanamme-512-2022	17/06/2022	Remisión de informes de resultados de ensayos de mezcla asfáltica y ligante asfáltico del proyecto "Rehabilitación y Ampliación de Ruta Nacional N° 32, Carretera Braulio Carrillo, Sección Intersección Ruta Nacional N° 4 (Cruce a Sarapiquí) - Limón" y observaciones de gira del 08 y 09 de junio del 2022	UE-DRA-RN32-009-2022-1099 (179)
EIC-Lanamme-577-2022	11/07/2022	Remisión de informes de resultados de ensayos de mezcla asfáltica y ligante asfáltico del proyecto "Rehabilitación y Ampliación de Ruta Nacional N° 32, Carretera Braulio Carrillo, Sección Intersección Ruta Nacional N° 4 (Cruce a Sarapiquí) - Limón" y atención a oficio UE-DRA-RN32-009-2022-0992 (179)	UE-DRA-RN32-009-2022-1234 (179)
EIC-Lanamme-613-2022	19/07/2022	Observaciones de Gira 12 y 13 de julio 2022 y remisión de informes de laboratorio	UE-DRA-RN32-009-2022-1370 (179)
EIC-Lanamme-634-2022	03/08/2022	Pérdida de material granular en diferentes elementos constructivos del proyecto	UE-DRA-RN32-009-2022-1441 (179)
EIC-Lanamme-639-2022	08/08/2022	Atención a oficio UE-DRA-RN32-009-2022-1234 (179)	UE-DRA-RN32-009-2022-1434 (179)
EIC-Lanamme-731-2022	24/08/2022	Respuesta a oficio UE-DRA-RN32-002-2022-1345 y solicitud de informes de ensayos a las almohadillas de neopreno	UE-DRA-RN32-009-2022-1611 (179)
EIC-Lanamme-782-2022	21/09/2022	Atención a oficio UE-DRA-RN32-009-2022-1370 (179) y observaciones de la gira realizada el 06 y 07 de setiembre del 2022	UE-DRA-RN32-009-2022-1735 (179)



Oficio / Nota informe	Fecha de emisión	Asunto	Oficio de respuesta de la administración
EIC-Lanamme-822-2022	26/09/2022	Remisión de informe preliminar EIC-Lanamme-INF-0509-B-2022	UE-DRA-RN32-009-2022-1813 (179) UE-DRA-RN32-009-2022-1857 (179)
EIC-Lanamme-879-2022	07/10/2022	Atención a oficio UE-DRA-RN32-009-2022-1611 (179)	UE-DRA-RN32-009-2022-1858 (179)
EIC-Lanamme-1002-2022	24/11/2022	Consulta sobre estado de puentes y solicitud de información	UE-DRA-RN32-009-2022-2153 (177) UE-DRA-RN32-009-2022-2205 (179)
EIC-Lanamme-1040-2022	06/12/2022	Remisión de informes de laboratorio	UE-DRA-RN32-009-2022-2206 (179)
EIC-Lanamme-60-2023	03/02/2023	Solicitud de información, remisión de información sobre apoyos elastómericos y atención de oficio UE-DRA-RN32-009-2022-2205 (179)	UE32-DRA-09-2023-0098 (0397) UE32-DRA-09-2023-0116 (0397) UE32-DRA-09-2023-0181 (0397)
EIC-Lanamme-162-2023	31/03/2023	Observaciones giras del 07 y 22 de febrero y 07 y 14 de marzo del 2023 al proyecto de Ampliación de la Ruta 32	UE32-DRA-09-2023-0334 (0397)
EIC-Lanamme-177-2023	09/03/2023	Muestréos de materiales de demarcación en Ampliación Ruta 32	UE32-DRA-09-2023-0285 (0397)
EIC-Lanamme-249-2023	31/03/2023	Atención del oficio UE32-DRA-09-2023-0285 (0397)	No requiere respuesta

*Este resumen incluye oficios de distintos temas que son considerados para este y otros informes de auditoría realizados para el proyecto

METODOLOGÍA

La labor que se efectúa en un proceso de auditoría técnica se orienta en recopilar y analizar evidencias durante un periodo definido, así como identificar posibles elementos y aspectos que puedan afectar la calidad y durabilidad del proyecto. Este informe se realizó siguiendo los procedimientos de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, mediante la solicitud y revisión de la documentación del proyecto, así como distintas visitas a los frentes de trabajo durante el proceso constructivo.

El inicio de la ejecución de la auditoría se comunicó a la Unidad Ejecutora por medio del oficio LM-AT-137-17 del 8 de noviembre del 2017, donde se convocó a las partes involucradas a una reunión el 21 de noviembre del 2017, en la cual se expuso el alcance, los criterios de evaluación del estudio y se solicitó acceso a la información del proyecto durante la fase constructiva.

Las actividades que fueron desarrolladas por el Equipo Auditor consistieron en visitar los diversos frentes de trabajo, revisar los documentos contractuales y de diseño del proyecto, programar muestreos a los materiales y analizar los resultados de los ensayos desarrollados a



lo largo de la ejecución del proyecto por parte de la verificación de la calidad de los materiales y del LanammeUCR. Se destaca que durante el lapso que comprende esta auditoría se han realizado 34 muestreos de ligante asfáltico, 21 muestreos de base estabilizada y 22 muestreos de mezcla asfáltica. Además, se han realizado más de 76 visitas técnicas al proyecto.

En relación con los criterios utilizados en la ejecución del estudio, estos corresponden con la normativa técnica especificada en el siguiente listado de documentos, el cual se encuentra establecida de la misma forma en el Contrato.

- Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes (CR-2010).
- El código de construcción.¹
- La norma "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications", de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), edición 2010 o última versión.
- El documento titulado: "Tomo de disposiciones para la construcción y conservación vial", contiene las disposiciones generales emitidas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).
- Estudio de Impacto Ambiental
- Manual de construcción para caminos, carreteras y puentes (MC-2012).¹
- Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes.
- El Código de Cimentaciones de Costa Rica, edición 2009.
- Las Normas para la colocación de dispositivos de seguridad para protección de obras y demás disposiciones contractuales
- Manual de diseño estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica (DE-2010) o última versión.¹
- Reglamento de disposiciones de seguridad para protección de obras, publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 103 del 30 de mayo de 1997, Decreto No. 26041-MOPT.
- Manual técnico de dispositivos de seguridad y control temporal de tránsito para la ejecución de trabajos en las vías.
- Dispositivos obligatorios de visualización de MOPT.
- Manual Centroamericano de Gestión del Riesgo en Puentes, Edición 2010.
- Manual Centroamericano de Normas para Diseño Geométrico de carreteras (SIECA, 3a edición-2011).
- Manual Centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito (SIECA,2000).
- Pesos y Dimensiones, Decreto N° 33773-MOPT, publicado en La Gaceta N° 99 de fecha 24 de mayo de 2007 y sus modificaciones.
- Componentes de seguridad vial, implementación regulada mediante Decreto Ejecutivo No. 33148 y publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 100 del 25 de mayo del 2006.

¹ Esta normativa se indica tal cual, en el documento del Contrato, no obstante, corresponden a documentos no oficializados, por lo que no fueron contemplados por el Equipo Auditor.



- Normas y diseños para la construcción de carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Plan Vial.

Finalmente, se destaca que, cuando el Equipo Auditor identificó una evidencia que se consideró necesario alertar oportunamente a la Administración previo a la emisión de este informe final, se emitieron notas informes donde se indicaron las situaciones observadas. En cada nota informe emitida se brindó un periodo hábil para que la Administración, en caso de ser requerido, se refiriera al contenido de la nota. Una vez analizadas las respuestas de la Administración, se procedió a la confección de este informe.

AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA EL ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSIÓN PRELIMINAR

De acuerdo con los procedimientos de esta auditoría técnica del LanammeUCR, este informe EIC-Lanamme-INF-0107-2023 en versión preliminar fue remitido y recibido por la Unidad Ejecutora del proyecto (UE32) el día 15 de mayo del 2023 mediante el oficio EIC-Lanamme-390-2023 para que fuese analizado y donde se indicó que la presentación del informe se realizaría el día 30 de mayo del 2023 de forma virtual. A partir de la fecha de envío del informe preliminar, y según consta en el documento EIC-Lanamme-390-2023, se le otorgó un plazo de 15 días hábiles a los auditados para que se refirieran al informe preliminar de forma escrita, estableciéndose como plazo máximo el día 09 de junio del 2023.

La presentación del informe preliminar se realizó el día 30 de mayo del 2023 de manera virtual, y fue dirigida a la parte auditada con el fin de que se conocieran con mayor claridad y se expusieran los puntos que se requirieran ampliar según el contenido del informe.

En dicha presentación participó personal del CONAVI, el Consorcio Supervisor del proyecto y del LanammeUCR. En la Tabla 2 se presenta la lista de asistencia a la reunión del día 30 de mayo del 2023.

Tabla 2. Personal presente en reunión de presentación de informe preliminar EIC-Lanamme-INF-0107-2023 del 30 de mayo del 2023.

Institución / Organización	Nombres y Apellidos
LanammeUCR	Wendy Sequeira Rojas
LanammeUCR	Álvaro Cerdas Murillo
LanammeUCR	Francisco Fonseca Chaves
LanammeUCR	Víctor Cervantes Calvo
LanammeUCR	Luis Diego Herra Gómez
Conavi	Greivin Jiménez Esquivel
Conavi	Ronny Sánchez Chaves
Conavi	Valeria Bonilla Ramírez
Supervisión	Salvador Velásquez Sevilla
Supervisión	Juan De León Fonseca
Supervisión	Ángel Meléndez
Conavi	Berny Quirós
Conavi	Reynaldo Vargas Soto



El día 08 de junio del 2023 se recibe el descargo emitido por la UE32 mediante el oficio UE32-DRA-09-2023-0522 (0397) donde se incluye la respuesta del Gestor del Proyecto al informe preliminar mediante el oficio CSRN32-0429-2023. Además, se destaca que, ambos oficios fueron analizados por el Equipo Auditor y considerados para realizar aclaraciones y mejoras al informe con el fin de que sea de mayor claridad para la Administración.

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 entre: Intersección Ruta Nacional N°4 (Cruce de Sarapiquí) - Limón (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
- 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

Las obras fueron desarrolladas a partir de las actividades y procesos constructivos como: movimiento de tierras, muros de concreto, elementos estructurales, obras de protección geotécnicas, topografía, obras de drenaje, pavimentos, señalización vial e iluminación, mismos que fueron auditados por el LanammeUCR y que dan sustento al presente Informe.

Figura 1. Localización del proyecto de ampliación de la RN No. 32





RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Los hallazgos y observaciones señalados por el Equipo Auditor en este informe de auditoría se fundamentan en evidencias representativas, veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales miembros del Equipo Auditor participante en la auditoría, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de los ensayos realizados a las muestras extraídas y la recolección y análisis de evidencias.

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

Por otra parte, una **observación de auditoría técnica** se fundamenta en normativas o especificaciones que, a pesar de no ser necesariamente de carácter contractual, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería, principios generales, medidas basadas en experiencia internacional o nacional. No obstante, se destaca que estas tienen la misma **relevancia técnica** que un hallazgo.

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

SOBRE LA BASE ESTABILIZADA

HALLAZGO NO. 1. A PARTIR DE RESULTADOS DE LA SUPERVISIÓN Y DEL LANAMMEUCR, SE IDENTIFICARON ALGUNOS INCUMPLIMIENTOS DE RESISTENCIA EN LA BASE ESTABILIZADA, CON UN 25 % DE LAS MUESTRAS QUE PRESENTAN RESISTENCIAS POR FUERA DEL RANGO DE TOLERANCIA ESTABLECIDO CONTRACTUALMENTE SEGÚN DATOS DE LA SUPERVISIÓN.

Como parte del proceso de fiscalización que realiza el LanammeUCR, se han realizado diferentes muestreos del material de base estabilizada con cemento, asimismo, para este hallazgo se toman en consideración los diferentes muestreos que se han realizado por la Supervisión del proyecto como parte del estudio y verificación que esta lleva a cabo sobre la calidad del material durante el periodo entre enero del 2020 a junio del 2022.

El uso de bases estabilizadas con cemento como parte del pavimento permite obtener una mejora de las propiedades mecánicas, de plasticidad y durabilidad de una capa de la estructura del pavimentos, no obstante, se debe garantizar el adecuado desempeño de esa capa de material mediante la verificación de los diferentes parámetros que inciden en la calidad de la base, en especial al tratarse de un material con una rigidez mayor, que es propenso a sufrir agrietamientos por contracción debido a resistencias a la compresión elevadas.

De acuerdo a lo anterior, uno de los principales parámetros de calidad que se controla en la base estabilizada corresponde a la resistencia a la compresión simple a los siete días; para el caso particular del proyecto de ampliación de la RN No. 32 se establecen los límites de



resistencia en la Orden de Modificación No. 6 realizada el 18 de mayo del 2020, en la cual se especifica el límite superior y los requisitos de granulometría que debe cumplir el material, sobre este se destaca que, inicialmente la resistencia máxima para la base estabilizada era de 39 kg/cm², sin embargo, este valor se pasó a 55 kg/cm² mediante esta orden de modificación.

Por su parte para el límite inferior de resistencia se toma en consideración el valor estipulado en la sección 302 del CR-2010, en la Tabla 3 se puede observar el resumen con los límites de resistencia.

Tabla 3. Requisitos de resistencia a los 7 días para la base estabilizada. Fuente: OM No. 6

Parámetro	Límite inferior	Límite superior
Resistencia a la compresión a los 7 días	21 kg/cm ² (2,1 Mpa)	55 kg/cm ² (5,5 Mpa)

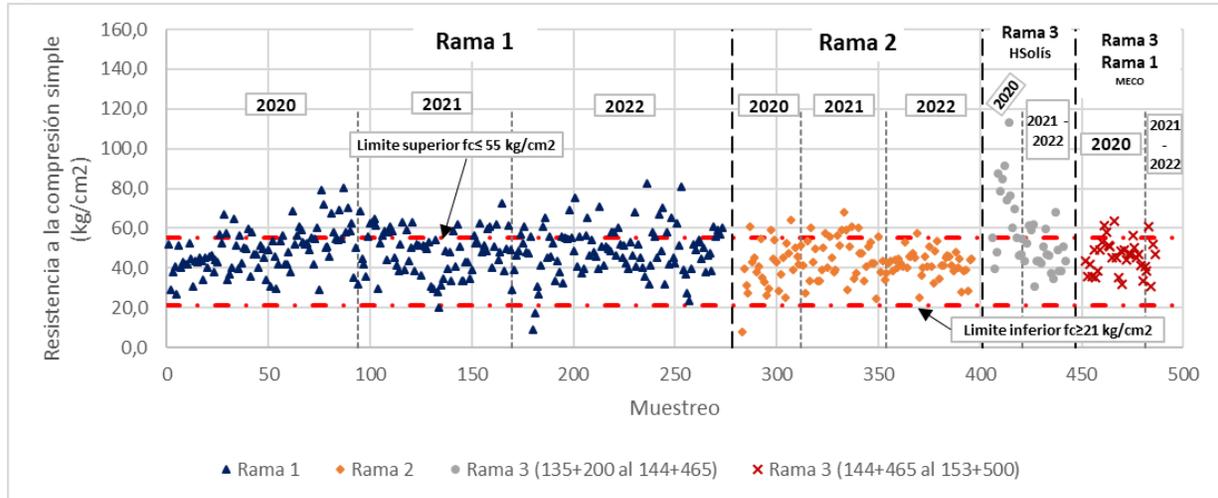
Por otro lado, es importante mencionar que al igual que para la mezcla asfáltica, la producción y colocación de base estabilizada se encuentra dividida en varios sectores de acuerdo con el contratista o subcontratista que ejecute las obras, razón por la cual, para el presente análisis se consideran diseños de base distintos, con fuentes de agregado y porcentajes de dosificación diferentes.

Además se destaca que existen procesos de producción y colocación en sitio distintos ya que, para los sectores de Rama 1 y Rama 2, el contratista realiza la producción de la base mediante planta de mezclado y se coloca en sitio mediante el uso de pavimentadoras, lo cual, tal y como se indicó en el informe EIC-Lanamme-INF-0509-2022, a criterio del Equipo Auditor corresponde a una buena práctica constructiva; por su parte, para el sector de Rama 3, así como, en un tramo específico de Rama 1, los subcontratistas realizan la producción y mezclado en sitio mediante el uso de recuperadoras. Sin embargo, en términos de requisitos contractuales, para todos los diseños se debe garantizar el rango de resistencia que se menciona en la Tabla 3.

En relación con los resultados, se muestra en la Figura 2 los datos de resistencia a la compresión obtenidos por la Supervisión para el periodo de análisis, en el cual estos han realizado aproximadamente 459 muestreos del material.



Figura 2. Resumen de resultados de resistencia a la compresión de la base estabilizada para las muestras obtenidas por la Supervisión. Fuente: Informes de verificación, CACISA. Periodo: enero 2020 – junio 2022.



A partir de la figura anterior, se puede apreciar que a nivel general existen algunos incumplimientos en este parámetro, siendo que en su mayoría estos se presentaron debido a resistencias superiores al límite de 55 kg/cm^2 para los distintos sectores del proyecto, mientras que, únicamente las muestras tomadas el 05/02/2020 para Rama 2 y las muestras del 25/05/2021, del 06/02/2022 y 08/02/2022 para Rama 1 son las que presentan incumplimientos en el límite inferior de la especificación.

Por su parte, se puede observar en la Figura 2 que el sector donde se presentó el mayor porcentaje de incumplimientos corresponde al tramo de Rama 3 a cargo del Sub-Contratista HSolís, en el cual el 43 % de los datos registró una resistencia superior a 55 kg/cm^2 , lo que corresponde a 16 de 37 muestreos realizados por la Supervisión, donde además se destacan algunas resistencias de hasta 118 kg/cm^2 (valor que duplica el límite superior).

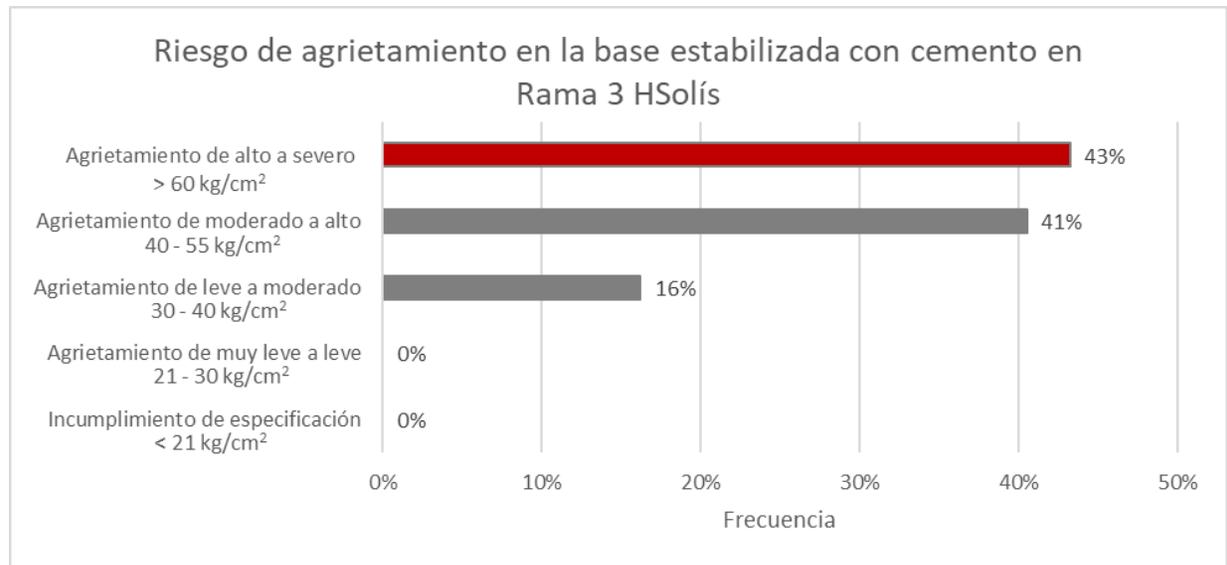
En ese mismo orden de ideas, si se toman en consideración los rangos de riesgo de agrietamiento mencionados por Arce (2011) contenidos en la Tabla 4, se puede observar en la Figura 3, la distribución de frecuencia de resultados de verificación de la calidad para el sector de Rama 3 a cargo del Sub-Contratista HSolís. En esa figura se aprecia que los datos se ubican en su mayoría en las categorías de riesgo de agrietamiento de “alto a severo” (43 %) la cual corresponde precisamente a los datos que presentan incumplimientos por resistencias altas y de “moderado a alto” con un 41 % de los datos.



Tabla 4. Rangos de riesgo de agrietamiento en función de la resistencia de la base estabilizada. Fuente: Arce, 2011

Clase	Rango	Clasificación
1	< 21 kg/cm ²	Incumplimiento de especificación
2	21 - 30 kg/cm ²	Agrietamiento de muy leve a leve
3	30 - 40 kg/cm ²	Agrietamiento de leve a moderado
4	40 - 55 kg/cm ²	Agrietamiento de moderado a alto
5	> 60 kg/cm ²	Agrietamiento de alto a severo

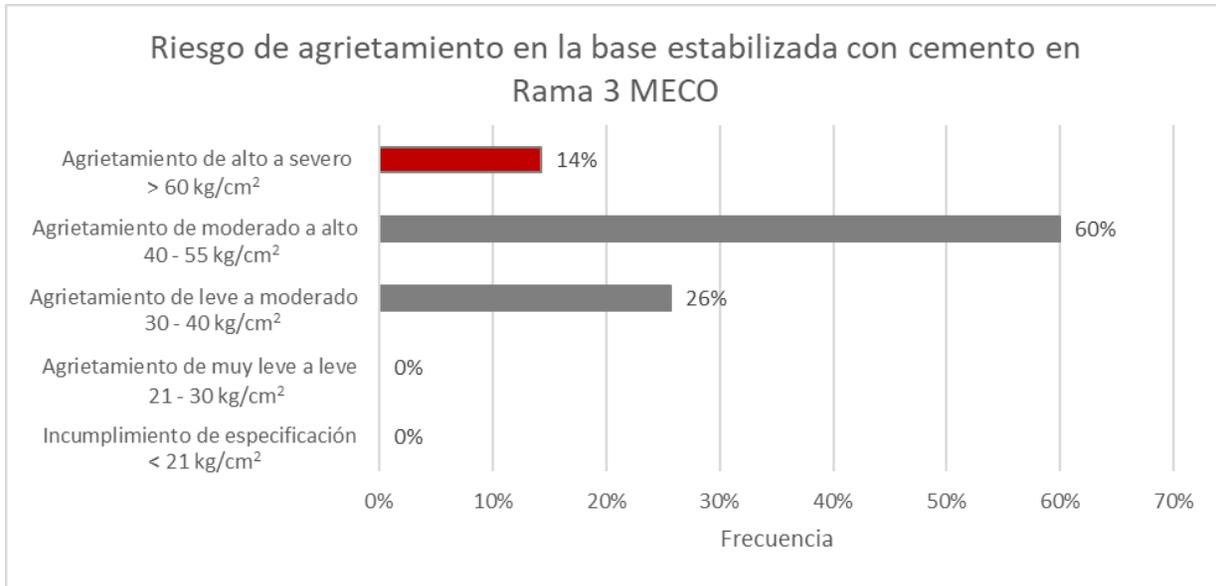
Figura 3. Distribución de frecuencias de resultados en función del riesgo de agrietamiento para el tramo de Rama 3 a cargo del Sub-Contratista HSolís según los datos de Supervisión.



Por su parte, para el sector de Rama 3 encargado al Subcontratista MECO, se identificó que el porcentaje de muestras que no satisfacen el rango permitido es de un 14%, con un valor máximo de 63,7 kg/cm² el cual corresponde a más del doble de la resistencia de diseño de una base del tipo BE-25 (3,0 MPa). Para las muestras de este sector se aprecia la distribución de resultados en la Figura 4, a partir de la cual se evidencia una tendencia a resistencias superiores a 30 kg/cm², con un riesgo de agrietamiento en las categorías de “leve a moderado” (26%), de “moderado a alto” (60%) y “alto a severo” (14%).



Figura 4. Distribución de frecuencias de resultados en función del riesgo de agrietamiento para los sectores encargados al Sub-Contratista MECO según los datos de Supervisión.



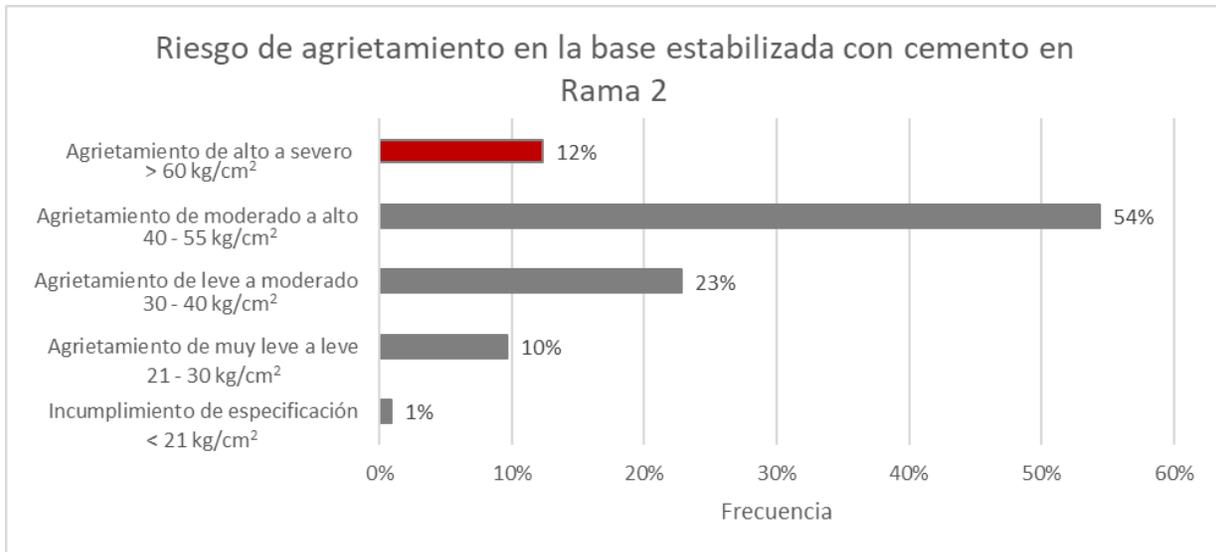
En cuanto a los resultados obtenidos por la Supervisión para el sector de Rama 2, se puede apreciar en la Figura 2 un mayor porcentaje de los datos dentro de los límites de la especificación, en este caso se obtuvo una resistencia promedio para el año 2020 de 41,3 kg/cm² con una desviación estándar de 12,2 kg/cm² y un 13 % (4 de 30) de las muestras con incumplimientos; para el año 2021 se registró un promedio de resistencias de 45,2 kg/cm² con una desviación estándar de 10,5 kg/cm², si bien la dispersión de los resultados disminuyó para este año el porcentaje de muestras con incumplimientos subió a 24 % (10 de 42); finalmente para el año 2022, se obtuvo una resistencia promedio de 42,4 kg/cm² con una desviación estándar inferior respecto al 2020 y 2021 de 6,4 kg/cm² con únicamente 1 de 42 muestras con incumplimiento del límite superior.

Lo anterior puede ser indicativo que para este sector se obtuvo una mejora en el proceso de estabilización y un mejor control del contenido de cemento y de los insumos que componen este material, al obtener una menor dispersión de los datos, además, se destaca que para este sector fue donde se identificaron la menor cantidad de incumplimientos con un 12% de las muestras para los tres años analizados.

De igual manera, se presenta en la Figura 5 la distribución de resultados de resistencia según los rangos de riesgo del agrietamiento que se puede presentar en la base estabilizada para las muestras obtenidas por la Supervisión en el Sector de CHEC Rama 2, a partir del cual se destaca que la mayoría de resultados se encuentra en la categoría de riesgo de agrietamiento de “moderado a alto” con un 54 % de las muestras, mientras que el 33 % de las muestras presenta una resistencia entre 21 kg/cm² y 40 kg/cm² con un riesgo de agrietamiento entre muy leve a moderado.



Figura 5. Distribución de frecuencias de resultados en función del riesgo de agrietamiento para el sector de CHEC Rama 2 según los datos de Supervisión.

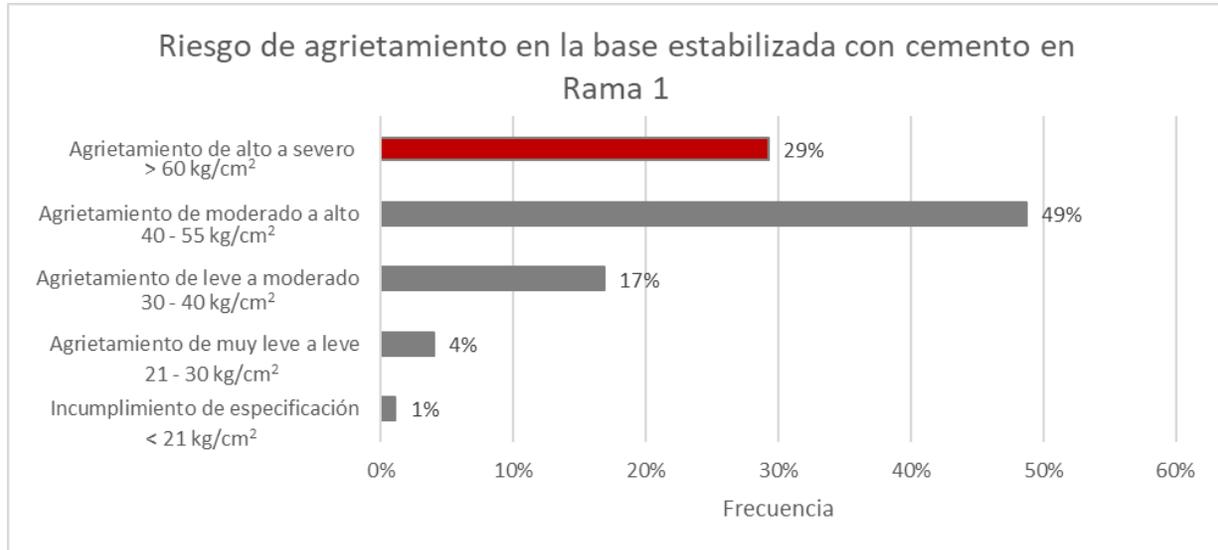


Para los datos obtenidos en el sector de Rama 1, se evidencia en la Figura 2 que un 30% de las muestras incumple el rango de tolerancia permitido, lo cual equivale a 83 de 273 muestreos realizados por la Supervisión en ese sector. Se destaca que la resistencia promedio obtenida corresponde a 48,7 kg/cm² con una desviación estándar de 11,6 kg/cm², asimismo, en la Figura 2 es posible apreciar que para el año 2020 se presentaron resistencias más altas de hasta 80,3 kg/cm² con un porcentaje de incumplimiento del 25 %, para el año 2021 el porcentaje de muestras con inconsistencias correspondió al 30 % con resistencias menores a 70,2 kg/cm², mientras que para el primer semestre del 2022 se obtuvo un 34 % de los datos con resistencias elevadas, con un valor máximo de 82,3 kg/cm². Esto evidencia que para este diseño de base estabilizada es posible realizar un ajuste del contenido de cemento para evitar incumplimientos en términos de resistencia.

Adicionalmente, se presenta en la Figura 6 la distribución de los resultados, donde se aprecia que el 29% de los datos se encuentra en la categoría de riesgo de agrietamiento de alto a severo y un 49% en la categoría de moderado a alto, además, se destaca un 1 % de los datos por debajo del límite inferior de 21 kg/cm², porcentaje que corresponde a las 3 muestras mencionadas anteriormente.



Figura 6. Distribución de frecuencias de resultados en función del riesgo de agrietamiento para el sector de CHEC Rama 1 según los datos de Supervisión.

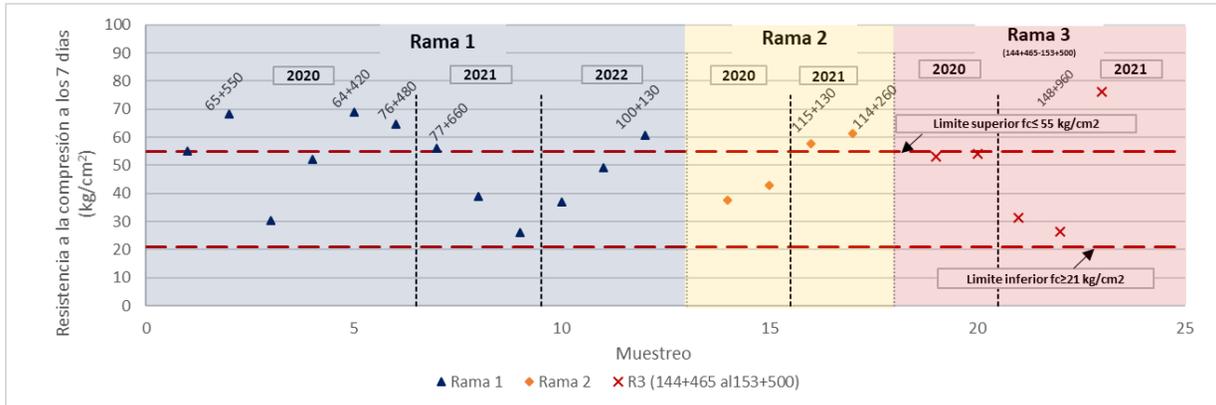


De manera general para todos los tramos evaluados (Rama 1, Rama 2 y Rama 3), se identificó que un 75 % de las muestras obtenidas, se encuentran dentro de las tolerancias definidas contractualmente, sin embargo, para el 25 % restante se registraron resistencias que varían entre los 55 y 113 kg/cm², con resultados que presentan hasta dos veces la resistencia máxima permitida contractualmente (55 kg/cm²).

Por su parte, como parte del proceso de fiscalización el LanammeUCR realizó muestreos en diferentes puntos del proyecto con el objetivo de evaluar la resistencia a la compresión simple de la base estabilizada. Es importante destacar que, debido a que los muestreos que realiza el LanammeUCR no se desarrollan con la finalidad de cumplir como la Verificación de la calidad ni como el Autocontrol del Contratista, la cantidad de muestreos es menor al compararse con los datos de la Supervisión, sin embargo, estos representan un insumo importante para la Administración durante el desarrollo del proyecto, siendo que todos los informes de ensayo con resultados del LanammeUCR han sido remitidos previamente a la UE32 para su análisis. Se puede apreciar un resumen con los resultados obtenidos por el LanammeUCR en la Figura 7.



Figura 7. Resumen de resultados de resistencia a la compresión de la base estabilizada para las muestras obtenidas por el LanammeUCR. Periodo: enero 2020 – junio 2022.



Sobre los resultados obtenidos por el LanammeUCR, se debe mencionar que para el periodo que comprende el proceso de fiscalización de este informe no fue posible obtener muestras del Sub-Contratista HSolís. Por su parte, para el sector de Rama 1 se identificó una resistencia promedio de 50,6 kg/cm² con una dispersión de 14,6 kg/cm², en este sector se destaca que 5 de 12 muestras (42% de los datos) presentaron una resistencia superior a los 55 kg/cm² siendo que para el año 2020 fue donde se registraron una mayor cantidad de muestras (3 muestras) fuera del rango de tolerancia.

Para el caso de CHEC Rama 2, se obtuvieron únicamente 4 muestreos, de los cuales las muestras tomadas en los estacionamientos 114+260 y 115+130 presentaron una resistencia a la compresión promedio de 61,5 kg/cm² y 57,7 kg/cm² respectivamente, los cuales son superiores al límite establecido contractualmente, no obstante, la resistencia promedio obtenida fue de 49,9 kg/cm² con una desviación estándar de 11,4 kg/cm², evidenciando un mejor control de la producción al obtenerse menor variabilidad en este parámetro respecto al plantel de Rama 1, se destaca que, esta tendencia también se presentó en los resultados de la Supervisión.

Por su parte, para el sector de Rama 3 adjudicado al Subcontratista MECO, es importante destacar que únicamente fue posible obtener muestreos para los años 2020 y 2021. En este caso, se estableció una resistencia promedio de 48,3 kg/cm² con una desviación estándar de 20,1 kg/cm², asimismo, se destaca que solamente la muestra tomada el 05/03/2021 en el estacionamiento 148+960 aproximadamente fue la que presentó una resistencia superior al límite establecido con un valor de 76,3 kg/cm².

En el caso de los resultados obtenidos por el LanammeUCR, se determinó de manera general que un 62 % de las muestras obtenidas, se encuentran dentro de las tolerancias definidas contractualmente, no obstante, para el 38 % restante se registraron resistencias que varían entre los 55 y 76 kg/cm², con resultados que presentan hasta dos veces la resistencia de diseño (3,0 MPa).

Ahora bien, con relación a la variabilidad obtenida en función del método de producción de la BE, se puede observar en la Tabla 5, el promedio y desviación de los resultados obtenidos tanto por la Supervisión como por el LanammeUCR, según la metodología de producción. A



partir de esto, se puede observar que, para los datos de la Supervisión, se obtuvo una resistencia promedio menor para los muestreos realizados en las zonas donde se hace la producción en planta.

Asimismo, las muestras de la base estabilizada producida en planta presentan una desviación estándar ligeramente inferior en comparación con las muestras de la base estabilizada en sitio, lo cual puede ser indicativo de un mejor control del proceso productivo y de una mejora en términos de variabilidad de los resultados, lo cual permitiría reducir incumplimientos en ese parámetro, no obstante, también se debe tomar en consideración que el número de muestras analizadas para la producción de base estabilizada en planta es mayor, en comparación al método de producción en sitio lo cual puede tener un efecto en la variabilidad obtenida, además, según lo indica el Gestor del Proyecto en el documento de descargo CSRN32-0429-2023 se utilizan diferentes tipos de cemento para la base estabilizada lo cual puede tener un efecto en la variabilidad indicada.

Tabla 5. Resultados de resistencia según el tipo de producción de la base estabilizada. Periodo: enero 2020 – junio 2022.

Tipo de producción	Contratita o Subcontratista	Resultados de la Supervisión		Resultados del LanammeUCR	
		Promedio (kg/cm ²)	Desviación estándar (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Desviación estándar (kg/cm ²)
Producción en planta	CHEC Rama 1 CHEC Rama 2	47,1 (387)	11,6 (387)	50,4 (16)	13,5 (16)
Producción en sitio	MECO - HSolís	51,2 (72)	15,1 (72)	48,3 (5)	20,1 (5)

() número de muestras que se consideraron en el análisis

Ahora bien, en específico para las muestras que presentaron incumplimientos del rango especificado (119 muestras), se identificó que en su mayoría corresponden a resultados por encima del límite superior del proyecto, lo cual se puede deber a alteraciones en la tasa de dosificación del cemento durante la producción en planta o a la incorrecta distribución y homogenización del cemento cuando se produce en sitio, generando zonas con segregación del material que influyen en este parámetro. De acuerdo con Ávila et al (2012) otro aspecto que influye en la resistencia de la BE corresponde a la calidad de la base granular por utilizar, en el tanto que bases con granulometrías bien gradadas y con baja plasticidad presentan un comportamiento mejor.

Para este proyecto en particular, se debe mencionar que no se aplica la evaluación estadística de los resultados de resistencia según la sección 107.05 del manual CR-2010, según lo indicado en la sección 302 en ese mismo manual, sino que, tal y como se establece en el apartado 7.5 del Contrato se sigue lo siguiente:

“Si, como resultado de un examen, inspección, medición o prueba, cualquiera de los diseños, materiales y obras se consideran defectuosos o de otra forma no acordes al Contrato, el Gerente de Proyecto podrá rechazarlos mediante notificación al Contratista con la justificación correspondiente. En ese caso, el Contratista subsanará el defecto



en el plazo otorgado por la Gerencia de Proyecto y se asegurará que el elemento rechazado se ajuste al Contrato.”

A partir de lo anterior, se destaca que cuando se identifican incumplimientos en parámetros de calidad de la base estabilizada, se han establecido dos protocolos de atención en función del tipo de incumplimiento registrado. Se destaca que según lo indicado en el oficio CSRN032-0444-2022 del 02 de mayo del 2022 y en el oficio CSRN032-0647-2022 del 10 de junio del 2022 cuando se presentan incumplimientos de parámetros de compactación, proceso constructivo o para el caso en el cual se determina que la resistencia es inferior al mínimo establecido, el Contratista realiza la remoción del paño afectado y se vuelve a realizar el proceso constructivo de la zona intervenida. Sin embargo, se destaca que el Equipo Auditor desconoce si para los tramos donde se identificaron resistencias inferiores, destacados al inicio de este análisis, se ha realizado el proceso de remoción del material.

Mientras que, para el caso en el cual se obtienen resistencias superiores al límite máximo se ha establecido realizar el proceso de prefisurado en la zona de influencia de dicho muestreo, al respecto mediante el oficio UE-DRA-RN32-009-2021-0790 (179) del 27 de abril del 2021 en el cual se hace referencia al documento CSRN32-0487-2021, la Supervisión indica que el Contratista realiza cortes controlados a una profundidad de 7 cm, sobre los cuales se aplica el riego de imprimación y material de secado.

Si bien el proceso de prefisurado corresponde a una metodología válida para el tratamiento de paños con resistencias altas, mediante el informe EIC-Lanamme-INF-0509-2022 se indicaron diferentes aspectos constructivos y recomendaciones sobre el proceso de prefisurado que se realiza en el proyecto en relación con la posibilidad del reflejo de los cortes a las capas superiores en el mediano o largo plazo.

Finalmente, se destaca que, aquellas secciones donde se obtuvieron resultados de resistencia a la compresión superiores al límite recomendado, constituyen una base más rígida y con mayor susceptibilidad a presentar agrietamientos que se pueden reflejar posteriormente sobre la carpeta asfáltica colocada, incidiendo de manera negativa en el desempeño de la estructura de pavimento. Por el contrario, aquellas secciones en las que se obtuvo una resistencia a la compresión inferior al mínimo establecido representan zonas con una capacidad estructural menor a la supuesta en el diseño de pavimentos, lo que repercute en la durabilidad del pavimento ante la aplicación de las cargas de tránsito.

OBSERVACIÓN No. 1. SE EVIDENCIÓ QUE EL CONTRATISTA INCLUYÓ EL USO DE UN ADITIVO RETARDANTE DE FRAGUA EN LA PRODUCCIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA SIN ACTUALIZAR EL DISEÑO DE MEZCLA DEL MATERIAL.

Durante la visita técnica realizada el día 18 de marzo del 2022, el Equipo Auditor evidenció en algunos frentes de base estabilizada en el sector denominado como Rama 1 la presencia de varios camiones con material estabilizado (mezclado en planta) a la espera de su colocación, razón por la cual, se procedió a consultar sobre el periodo de transporte y colocación de dicho material. Al inspeccionar las boletas de salida de la planta, fue posible determinar que algunos

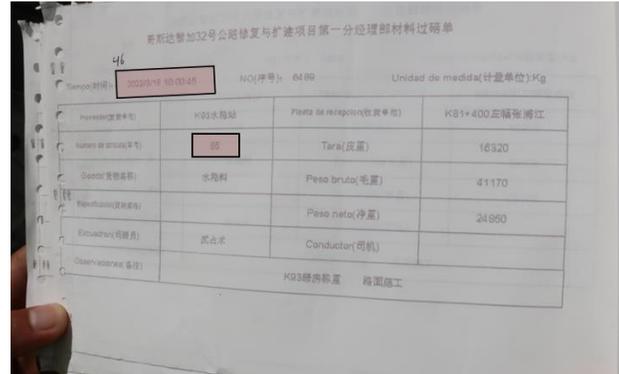


camiones tenían tiempos de transporte superiores a una hora desde su salida de la planta (Figura 8).

Figura 8. (a) Camiones con mezcla de base estabilizada en espera Est. 81+070, (b) boleta de salida del camión No. 85. Fecha: 18 de marzo del 2022



(a)



(b)

Estas observaciones se remitieron a la UE32, mediante el oficio EIC-Lanamme-178-2022 del 01 de abril del 2022, indicando que la normativa nacional mediante el CR-2010 en la sección 302, establece que el tiempo máximo de transporte permitido para bases estabilizadas mezcladas en planta es de 30 minutos desde el momento en el que se adiciona el agua a la mezcla. Ante lo cual, la Supervisión del proyecto indicó mediante el documento CSRN32-0444-2022 del 02 de mayo del 2022, que para la producción de la base estabilizada en Rama 1 y Rama 2 se estaba empleando el uso de un aditivo retardante de la fragua, debido a que se había detectado que el tiempo de viaje de los camiones desde las plantas al sitio de colocación podría exceder el lapso permitido contractualmente pero que se ha velado por evitar superar el lapso mencionado.

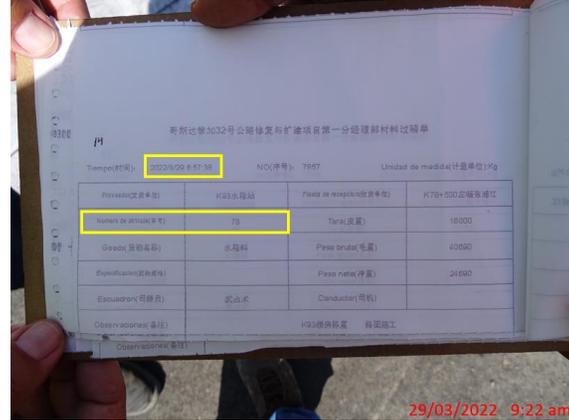
No obstante, durante la visita del 29 de marzo del 2022 el Equipo Auditor pudo apreciar que para algunos camiones, el tiempo superaba las dos horas desde la salida de planta, a manera de ejemplo se alude a la situación comprobada para el camión No. 78, el cual salió de planta a las 6:57 am y se colocó en sitio a las 9:17 am, momento al cual habían transcurrido 2:20 horas, aunado a esto se debe considerar el tiempo requerido para la distribución y compactación del material, tal y como se aprecia en la Figura 9.



Figura 9. (a) Colocación de camión No. 78 en Est. 78+680 LI (b) Boleta de salida del camión No. 78. Fecha: 29 de marzo del 2022



(a)



(b)

Esto se comunicó a la UE32 mediante el oficio EIC-Lanamme-411-2022 del 30 de mayo del 2022, donde se expresó que el tiempo máximo es de 2 horas cuando se utilizan aditivos retardantes de la fragua, además, se solicitó la ficha técnica o certificado del fabricante del aditivo utilizado. Posteriormente, mediante el oficio UE-DRA-RN32-009-2022-0992 (179) del 13 de junio del 2022, se remitió al Equipo Auditor la ficha técnica del aditivo utilizado y se destacó que la Supervisión ha tomado las acciones correspondientes cuando se identifican estos incumplimientos del tiempo permitido mediante el levantamiento de No Conformidades y Memorándums.

Sobre la inclusión del aditivo, el Equipo Auditor realizó la revisión de los informes de diseño de la base estabilizada con cemento utilizada por el Contratista en los sectores de Rama 1 y Rama 2, sin embargo, no fue posible identificar información relacionada con el uso del aditivo en la fórmula de trabajo, forma de incorporación a la mezcla base-cemento, porcentaje de dosificación ni su efecto en la resistencia, trabajabilidad y tiempos de fraguado de la base estabilizada. Esto se notificó mediante el oficio EIC-Lanamme-577-2022 del 11 de julio del 2022, donde además se solicitaron los informes actualizados que contemplan esta información.

Por su parte, la Supervisión del proyecto remitió su respuesta mediante el oficio CSRN32-0988-2022 del 17 de agosto del 2022 en el cual se adjuntaron los informes actualizados de base estabilizada que se destacan en la Tabla 6.

Tabla 6. Informes de diseño de base estabilizada con cemento actualizados. Fuente: CSRN32-0988-2022.

Informe	Laboratorio encargado del diseño	Sector
E2-10-03-2021	OJM	Rama 1
E2-74-025-2020	OJM	Rama 2

Sin embargo, al realizar una revisión detallada de estos informes, fue posible identificar que estos corresponden a una actualización de documentos, realizada el día 15 de julio del 2022, posterior a la remisión de la nota EIC-Lanamme-577-2022 donde precisamente el Equipo Auditor realizó la solicitud de actualización. Además, se destaca que en estos informes únicamente se modifica una sección respecto al informe original donde se incluye la



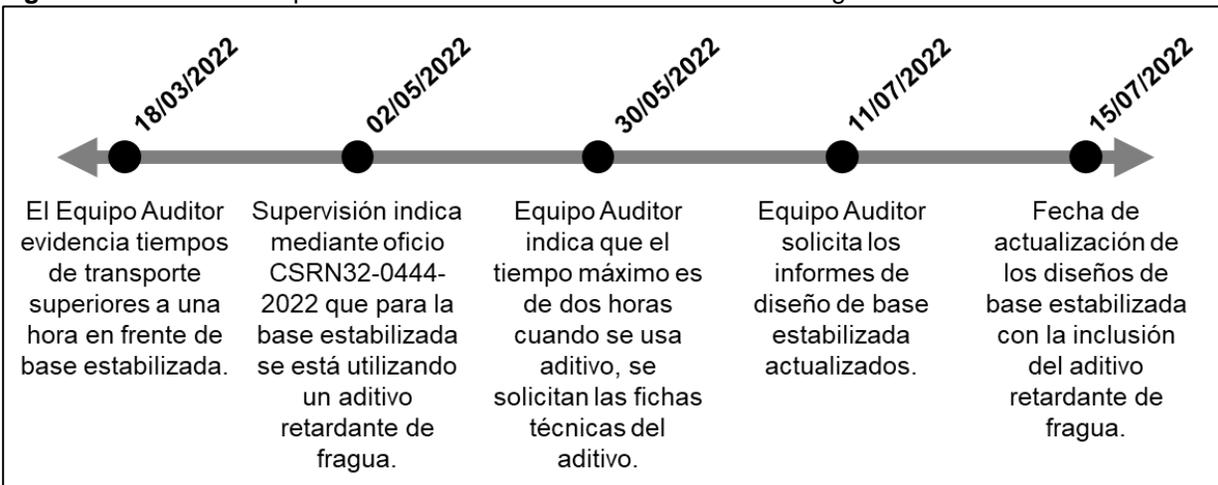
información del tipo de aditivo, porcentaje de dosificación y método de incorporación a la mezcla base-cemento.

No obstante, no se evalúa el efecto de ese aditivo en los parámetros de resistencia a la compresión, tampoco se evalúa su efecto en la trabajabilidad del material o en la densidad de la base estabilizada, en el tanto de que ambos informes hacen referencia a las muestras de ensayo de la base estabilizada y de las probetas utilizadas para determinar la resistencia a la compresión que fueron incluidas en el informe original, incluso se presentan los mismos resultados obtenidos para los diferentes contenidos de cemento, lo cual implica que no se realizaron pruebas de densidad y resistencia en pastillas de la mezcla base-cemento con la inclusión del aditivo.

Además, en los informes de diseño tampoco se hace referencia al respaldo técnico que permite garantizar que el porcentaje de dosificación del aditivo permite retardar el inicio del proceso de fraguado por un lapso de hasta dos horas, lo cual genera incertidumbre sobre la efectividad de este aditivo.

Aunado a lo anterior, al realizar el análisis de las fechas planteadas entre la remisión del oficio CSRN32-0444-2022 (02/05/2022), la solicitud de los informes actualizados mediante la nota EIC-Lanamme-577-2022 (11/07/2022) y la fecha de actualización de los diseños (15/07/2022), se evidencia que existe un periodo en el cual se realizó la colocación de base estabilizada y no se contaba con la información técnica que respalde el uso del aditivo mediante un documento formal de diseño del material, tal y como se evidencia en la Figura 10.

Figura 10. Línea de tiempo sobre inclusión de aditivo retardante de fragua en la base estabilizada.



Al respecto, es criterio del Equipo Auditor que, el uso de un aditivo retardante puede ser una decisión técnicamente adecuada para poder prolongar el tiempo de transporte y colocación y aunque la decisión de incorporar el aditivo retardante se pudo haber tomado después de que se presentaron los diseños iniciales, sin embargo se debió contar con la documentación técnica que respalde el efecto del aditivo sobre las condiciones contempladas en el diseño y el comportamiento del material en campo, además, se debe tener claridad sobre las proporciones



de cada material incluido el aditivo. Sobre esto, el CR – 2010 establece en la sección 302 Base granular estabilizada con cemento lo siguiente:

“Adicionalmente, junto con el diseño de mezcla, el contratista deberá entregar al menos la siguiente información, según corresponda:

(a) Para cada diseño de mezcla, la fórmula de trabajo que indique:

- *Fuente de material a utilizar*
- *Resultados de los ensayos aplicables (granulometría, límites de Atterberg, contenido de cemento, proporción del agregado virgen de adición -si el diseño lo requiere- entre otros)*
- *Porcentaje óptimo de cemento*
- *Si la base estabilizada es reciclada deberá indicar si es necesario la incorporación de agregado virgen y fuente de donde se extraerá*
- ***La dosificación de cada material***” (El resaltado no es del original)

Además, se debe tomar en cuenta lo indicado en el certificado del fabricante (ficha técnica) del aditivo retardante de fragua utilizado por el Contratista, en el cual se destaca lo siguiente en el apartado de precauciones:

“La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y las condiciones de la obra. Considerar que es un aditivo retardante y las pruebas previas son indispensables para asegurar el cumplimiento de las especificaciones del concreto con las dosis elegidas.” (El resaltado no es del original)

Adicionalmente, se debe destacar que, la inclusión de un material adicional a la fórmula de trabajo del material, implica una modificación de las condiciones consideradas inicialmente en el diseño, lo cual puede provocar una afectación de la resistencia de diseño considerada para el material o un retraso significativo en el periodo de fragua, reduciendo el efecto de estabilización del material granular de base, provocando una menor rigidez en esa capa de pavimento o una mayor susceptibilidad ante el fenómeno de desgaste de la base estabilizada al afectar los enlaces químicos entre el cemento y las partículas de material granular.

A partir de lo anterior se evidencia que el Contratista debió realizar una valoración del efecto que conlleva la inclusión del aditivo en los diferentes parámetros de control de calidad que se consideran para la base estabilizada, además, debió respaldar técnicamente la fórmula de trabajo propuesta de manera que sea posible para la Supervisión verificar la propuesta de modificación previo a la utilización de ese material en la producción de la base estabilizada con cemento.



SOBRE EL LIGANTE ASFÁLTICO

HALLAZGO No. 2. SE EVIDENCIÓ EL CUMPLIMIENTO EN LOS PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO Y EL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA EN LA MAYORÍA DE LAS MUESTRAS DEL ASFALTO MODIFICADO A EXCEPCIÓN DE LAS MUESTRAS TOMADAS EL 19 DE ENERO DEL 2021 Y 08 DE JUNIO DEL 2021.

El presente análisis se fundamenta en los diferentes muestreos de ligante asfáltico modificado y sin modificar que realizó el Equipo Auditor como parte del plan de fiscalización durante el periodo de estudio que abarca este informe, esto con la finalidad de evaluar el cumplimiento de los parámetros establecidos en el CR-2010. Además, se destaca que este análisis contempla los resultados obtenidos para los muestreos realizados por el LanammeUCR y los resultados que se encontraban adjuntos a los informes de verificación de la calidad realizados por el Gestor del proyecto en el periodo entre enero 2020 y junio 2022.

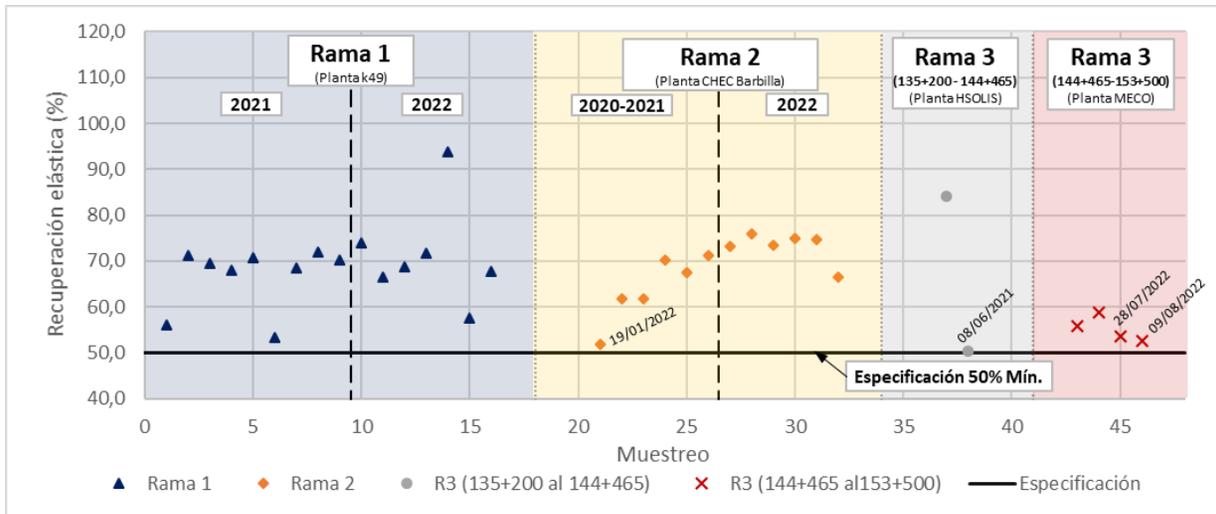
Como parte de los ensayos que se establecen en la subsección 702.02 del CR-2010 para el control de calidad, cuando se utilizan asfaltos modificados para la producción de mezcla asfáltica, se encuentran el punto de ablandamiento y el porcentaje de recuperación elástica, en la Tabla 7 se pueden observar los valores establecidos.

Tabla 7. Requisitos para el ligante asfáltico modificado. Fuente: CR-2010

Parámetro	Norma	Requisito
Porcentaje de recuperación elástica	ASTM D6084	Mín. 50 %
Cambio en el punto de ablandamiento	ASTM D36	aumento de al menos 5°C

Respecto a la prueba de recuperación elástica evaluada mediante el ductilómetro, esta permite medir la capacidad que tiene el ligante de recuperarse después de haber sido sometido a una deformación, para los asfaltos modificados, la muestra se somete a una velocidad de deformación de 5 cm/min a una temperatura establecida. Para el periodo que contempla esta auditoría se han realizado 34 pruebas de recuperación elástica, en la siguiente figura se presentan gráficamente los resultados obtenidos en los muestreos realizados por el LanammeUCR.

Figura 11. Resumen de resultados de recuperación elástica para los muestreos de asfalto realizados por el LanammeUCR en diferentes plantas de producción.



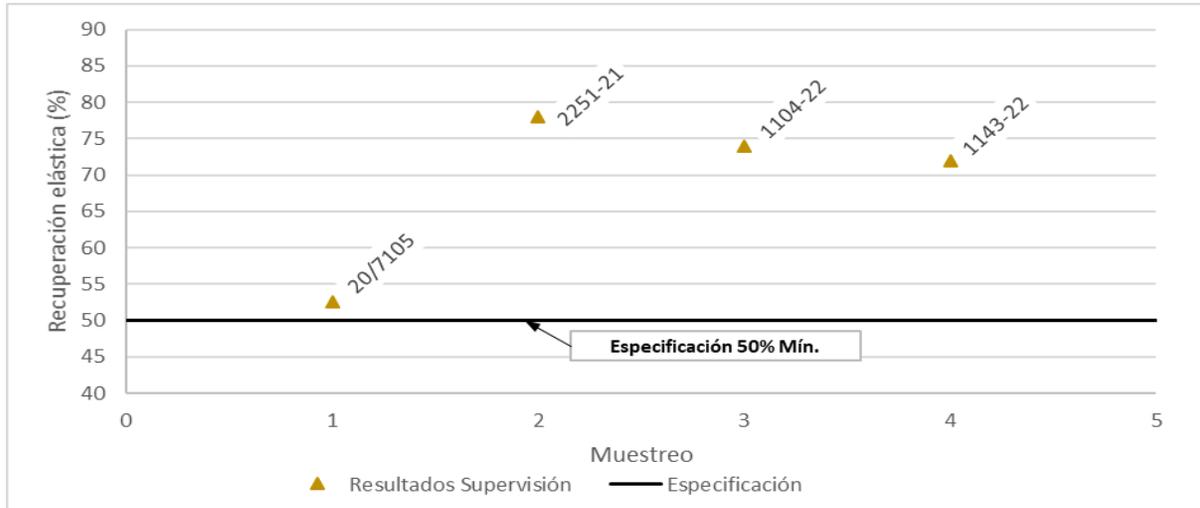
Tal y como se puede apreciar en la Figura 11, la totalidad de los resultados obtenidos se encuentran por encima del porcentaje de recuperación mínimo requerido. Para la planta de producción del Contratista CHEC en el sector Rama 2, se destaca el valor obtenido para el muestreo realizado el día 19 de enero del 2021 el cual se encuentra cercano al límite inferior con un valor de 51,8 %. Se evidencia también un comportamiento similar en el caso del muestreo realizado el 08 de junio del 2021 en el plantel de producción del Contratista HSOLIS obteniéndose un resultado de 50,3%, valor que se encuentra cercano al mínimo requerido.

Por su parte, las muestras tomadas en la planta de producción del Contratista MECO para los muestreos del 28 de julio y del 09 de agosto del 2022 evidencian resultados cercanos al límite inferior con valores de 53,7 % y 52,5 % respectivamente, si bien estos se encuentran por encima de la especificación, lo anterior toma relevancia al tratarse de muestras que no cumplen con el requisito de temperatura superior del grado de desempeño tal y como se resalta en el Hallazgo No. 3.

Por otro lado, en la Figura 12 se pueden observar los resultados obtenidos por el laboratorio de verificación del proyecto, en donde se presentan únicamente cuatro datos para esta prueba, los cuales se obtuvieron en los informes correspondientes a los meses de junio del 2020, abril y mayo del 2022. En este caso, todos los resultados satisfacen el criterio del 50% mínimo de recuperación elástica, siendo que la mayoría de muestras (3 de 4) presenta un valor superior a 70%. Sin embargo, cabe destacar que en la información incluida en los informes de verificación de la calidad no se documenta con claridad las fechas de muestreo, ni el plantel donde se tomaron las muestras, por lo cual no es posible asociar estos resultados a una fecha ni a un plantel específico de producción de mezcla asfáltica, sobre este particular se desarrollará un análisis en el Hallazgo No.8 de este informe.



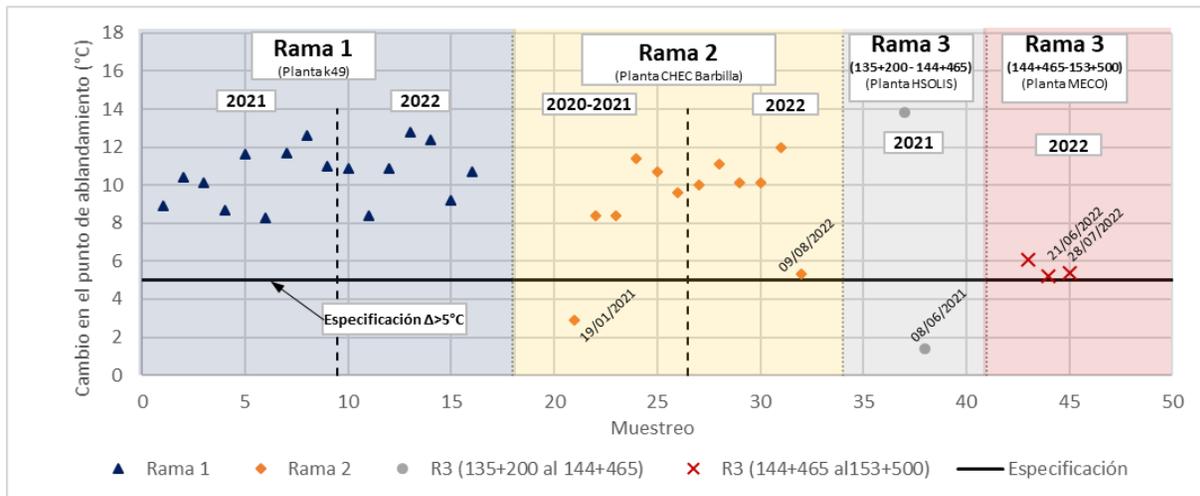
Figura 12. Resumen de resultados de recuperación elástica para los muestreos de asfalto realizados por la Supervisión.



Por otro lado, la prueba del punto de ablandamiento (incluida en la sección 702.02 como se aprecia en la Tabla 7) se utiliza para definir la temperatura a la cual un determinado ligante asfáltico presenta una tendencia a fluir. A nivel nacional, el uso de este ensayo permite cuantificar la influencia que tiene el agente modificante sobre el asfalto convencional, esto ya que la especificación establece un aumento mínimo en 5°C para este valor, respecto al asfalto original.

Durante el periodo que contempla este informe, el LanammeUCR realizó ensayos de punto de ablandamiento en 33 pares de muestras de ligante asfáltico virgen y modificado, cuyos resultados se pueden observar gráficamente en la Figura 13.

Figura 13. Resumen de resultados de punto de ablandamiento para los muestreos de asfalto realizados por el LanammeUCR en diferentes plantas de producción.





Se evidenciaron dos casos específicos en los que se registró el incumplimiento en el cambio del punto de ablandamiento, en primer lugar, la muestra obtenida el día 19 de enero del 2021 en el plantel de producción de CHEC Rama 2 (informe I-0355-2021 del LanammeUCR), donde se determinó un cambio de 2,9°C respecto al asfalto original, resultado que se encuentra por debajo del mínimo establecido contractualmente de 5 °C. Asimismo, para la muestra del día 08 de junio del 2021 proveniente del plantel del Contratista HSolís (informes I-0840-2021/I-0772-2021 del LanammeUCR), se obtuvo un cambio en el punto de ablandamiento de tan solo 1,4°C, valor que es inferior al mínimo establecido por la especificación. Se destaca que como se indicó anteriormente, estos muestreos presentaron una baja recuperación elástica, lo cual puede ser indicio de un proceso de modificación inadecuado del asfalto.

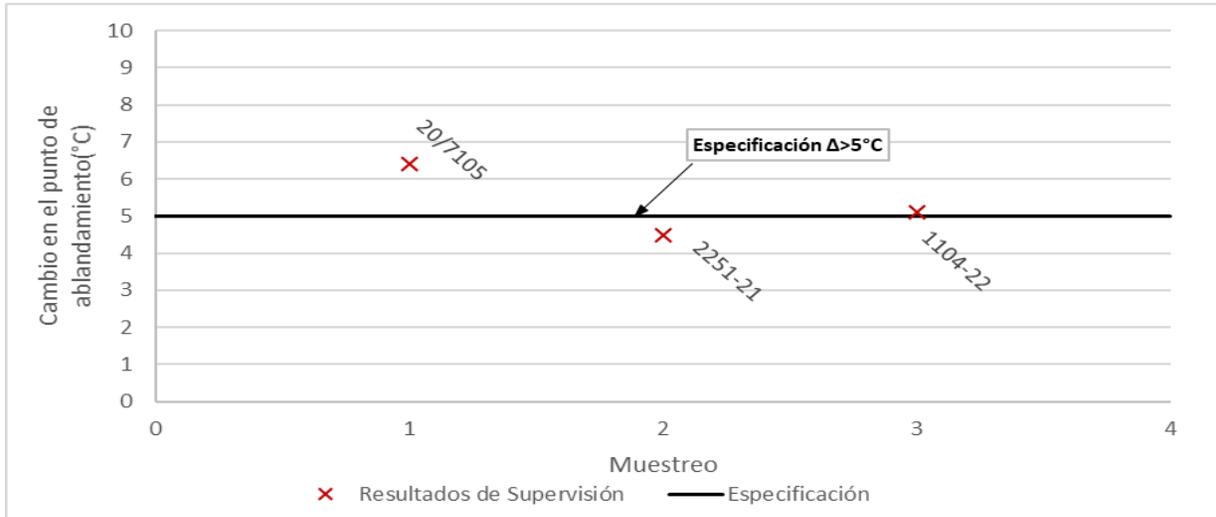
Aunado a esto, al igual que para las pruebas de recuperación elástica, algunas muestras de asfalto modificado tomadas en el plantel del Contratista MECO, registraron resultados de punto de ablandamiento cercanos a la especificación establecida con valores de 5,2°C para la muestra del 21 de junio del 2022 y de 5,4°C para la muestra del 28 de julio del 2022. Cabe señalar que, para la muestra tomada el 09 de agosto del 2022 en el plantel de MECO no se tienen resultados del ensayo de punto de ablandamiento debido a que para esa fecha no se pudo obtener una muestra del ligante asfáltico sin modificar como referencia. Se destaca que, estas muestras presentaron incumplimientos de la temperatura superior del grado de desempeño especificada por los diseños de mezcla tal y como se desarrolla más adelante en el Hallazgo No.3.

Para el caso del plantel de producción de Rama 1, se puede asegurar de forma general que los resultados de laboratorio obtenidos para los ligantes asfálticos modificados utilizados en esta planta de producción evidencian que el proceso de modificación del asfalto convencional fue adecuado en la mayoría de las muestras ensayadas. De manera que para el caso particular de este sector se obtiene la mejora contractualmente requerida para los 16 pares de muestras (convencional y modificado) obtenidas en el proceso de auditoría.

En cuanto a los resultados de la Supervisión para este, únicamente fue posible identificar datos del cambio en el punto de ablandamiento en los informes de abril y mayo del 2022, estos resultados se pueden observar gráficamente en la Figura 14, se destaca que una de las muestras presentó un cambio en el punto de ablandamiento de 4,5°C el cual es inferior al mínimo requerido contractualmente de 5 °C, este corresponde a la muestra 1104-22 en el informe CR-LAB-SI-2022-005. Al igual que para las pruebas de recuperación elástica, los datos que se incluyen en estos informes, no permiten identificar claramente las fechas de muestreo y el plantel de proveniencia de estos datos.



Figura 14. Resumen de resultados de punto de ablandamiento para los muestreos de asfalto realizados por la Supervisión.



Por otro lado, se debe comprender que, el cumplimiento de estos parámetros no está directamente relacionado con el cumplimiento de la especificación por grado de desempeño que se establece para los distintos sectores del proyecto, esto debido a que, a pesar de su importancia, las pruebas de recuperación elástica y punto de ablandamiento corresponden a ensayos empíricos que no pueden ser correlacionados directamente con pruebas reológicas (utilizadas para determinar el grado de desempeño del asfalto).

Además, tal y como se mencionó anteriormente, la intención principal de estas pruebas consiste en poder identificar de manera sencilla el cambio en el proceso de modificación del asfalto durante la producción de la mezcla asfáltica, de modo que, los incumplimientos detectados en el sector de Rama 2 y Rama 3 se pueden asociar a una alteración en la modificación del asfalto.

El incumplimiento de los requisitos establecidos de aumentar al menos en 5°C el punto de ablandamiento y un mínimo de 50 % en la recuperación elástica puede ser provocado entre otras razones por una dosificación incorrecta en el agente modificante, deficiencias en el modificante, cambios en el ligante asfáltico base, en la velocidad de la reacción o el tipo y tiempo de agitación, cabe destacar que esto representa un cambio respecto a la condición que fue considerada desde el diseño de mezcla asfáltica y según lo solicitado en los documentos contractuales.

Ese cambio puede provocar un comportamiento distinto en la mezcla asfáltica haciendo que esta sea más susceptible a deterioros prematuros como ahuellamientos, desnudamiento, daño por humedad o agrietamientos por fatiga, en especial al considerar las condiciones ambientales y de tránsito en el proyecto.



HALLAZGO No. 3. SE EVIDENCIARON INCUMPLIMIENTOS EN MUESTRAS ALEATORIAS DE LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO RESPECTO AL GRADO DE DESEMPEÑO ALTO REQUERIDO PARA EL PROYECTO.

Como parte del plan de fiscalización, el LanammeUCR ha realizado distintos muestreos aleatorios de ligante asfáltico convencional y modificado con la finalidad de realizar ensayos de determinación del grado de desempeño según la clasificación PG. Lo anterior debido a que en el proyecto se utilizan mezclas asfálticas con asfaltos modificados, por lo que se debe garantizar que el uso de los agentes modificantes representa un beneficio en la calidad y comportamiento de los materiales utilizados. Asimismo, se incluyen en este análisis los resultados de la verificación, los cuales se obtuvieron de los informes mensuales realizados por el Gestor del proyecto en el periodo entre enero 2020 y agosto 2022.

De manera general, se realizaron 34 muestreos de asfalto modificado para el control del grado de desempeño por parte del LanammeUCR, tomadas en los diferentes centros de producción de mezcla asfáltica utilizados en el proyecto, para los cuales existen distintas especificaciones en la temperatura superior del grado de desempeño requerida para el asfalto, en función del tipo de mezcla que se produce, debido a esto se muestran en la Tabla 8 los requisitos de la temperatura superior del grado de desempeño para cada diseño de mezcla, donde se destaca que únicamente la mezcla con tamaño máximo nominal (TMN) de 19 mm a utilizarse en el sector denominado como Rama 2 requiere una temperatura superior del grado de desempeño distinta a los demás.

Tabla 8. Requisitos para el grado de desempeño (PG) alto del ligante asfáltico modificado. Fuente: Informes de diseño de mezcla asfáltica

Sector	Planta de producción	TMN del diseño de mezcla	Temperatura alta de clasificación PG requerida*
Rama 1	CHEC K49	19 mm	76
		12,5 mm	76
Rama 2	CHEC BARBILLA	19 mm	70
		12,5 mm	76
R3 (135+200 al 144+465)	HSolís Guápiles	19 mm	76
		12,5 mm	76
R3 (144+465 al153+500)	MECO	19 mm	76
		12,5 mm	76

*Información según diseño de mezcla aprobado

Adicionalmente se destaca que, si bien el contrato del proyecto no establece el grado de desempeño PG que se requiere para el asfalto modificado, es el mismo Contratista el que establece en los documentos de diseño de las mezclas asfálticas la temperatura superior PG que debe cumplir el asfalto modificado. Cabe señalar que las características especificadas en estos diseños al ser aprobados por la Supervisión pasan a formar parte de los requisitos contractuales del proyecto, razón por la cual, la información que se recopiló en la Tabla 8 es considerada por el Equipo Auditor como parte de las especificaciones contractuales.

Asimismo, se debe mencionar que para el parámetro de temperatura inferior del grado de desempeño, los informes de diseño del material no establecen un requisito sobre el mismo,



razón por la cual, esta información se presenta en las Tabla 9, 10, 11 y 12 de manera informativa por lo que no se analizan esos resultados en este estudio.

En cuanto a los resultados obtenidos por la Supervisión, en la Tabla 9 se muestra el resumen con los ensayos realizados. Para este parámetro de evaluación se destaca que únicamente se identificaron resultados en los informes de junio del 2020; enero y abril del 2021; así como abril y mayo del 2022. Se puede apreciar que para todos los muestreos se cumple con la temperatura superior del grado de desempeño especificado en los diferentes diseños utilizados para los distintos sectores del proyecto. Adicionalmente, se debe aclarar que no fue posible establecer con certeza la fecha de muestreo y la planta de proveniencia de la mayoría de las muestras tomadas, debido a la ausencia de esta información en los informes de verificación de la calidad.

Tabla 9. Clasificación por grado de desempeño de muestras de ligante asfáltico modificado tomadas por la Supervisión.

Informe	Fecha de muestreo	Número de muestra	Tipo de asfalto	PG Superior	PG inferior
CR-LAB-SI-2020-004	NI	20/7105	Modificado	76	-16
CR-LAB-SI-2021-001	NI	NI	Modificado	76	-16
CR-LAB-SI-2021-004	NI	371-21	Modificado	76	-22
CR-LAB-SI-2022-004	25/10/2021	2251-21	Modificado	76	-16
CR-LAB-SI-2022-005	NI	1104-22	Modificado	76	-16
CR-LAB-SI-2022-005	NI	1143-22	Modificado	76	-16

Ahora bien, sobre los resultados obtenidos por el LanammeUCR, se puede apreciar en la Tabla 10 un resumen con los ensayos realizados a las muestras tomadas en el sector denominado como Rama 1, en este caso se realizaron 17 muestreos aleatorios de ligante asfáltico modificado.

Tabla 10. Clasificación por grado de desempeño de muestras aleatorias de ligante asfáltico modificado de Rama 1 tomadas por el LanammeUCR.

Informe de laboratorio	Fecha de muestreo	Número de muestra	Tipo de asfalto	PG Superior	PG inferior
I-0744-2020	02/10/2020	M-1044-2020	Modificado	70	-22
I-0360-2021	04/03/2021	M-0327-2021	Modificado	76	-22
I-0413-2021	24/03/2021	M-0480-2021	Modificado	76	-22
I-0460-2021	07/04/2021	M-0522-2021	Modificado	76	-22
I-0542-2021	29/04/2021	M-0695-2021	Modificado	76	-22
I-0613-2021	07/05/2021	M-0769-2021	Modificado	76	-22
I-0656-2021	19/05/2021	M-0821-2021	Modificado	70	-28
I-0742-2021	26/05/2021	M-0882-2021	Modificado	76	-22
I-0773-2021	03/06/2021	M-1000-2021	Modificado	76	-22
I-0898-2021	23/06/2021	M-1097-2021	Modificado	76	-22
EIC-Lanamme-INF-0642-2022	30/05/2022	M-0715-2022	Modificado	76	-22
EIC-Lanamme-INF-0836-2022	06/05/2022	M-0620-2022	Modificado	76	-16
EIC-Lanamme-INF-1008-2022	12/07/2022	M-1160-2022	Modificado	76	-22
EIC-Lanamme-INF-1096-2022	28/07/2022	M-1296-2022	Modificado	76	-22
EIC-Lanamme-INF-1303-2022	09/08/2022	M-1327-2022	Modificado	76	-22
EIC-Lanamme-INF-1408-2022	10/08/2022	M-1367-2022	Modificado	76	-22



Informe de laboratorio	Fecha de muestreo	Número de muestra	Tipo de asfalto	PG Superior	PG inferior
EIC-Lanamme-INF-1458-2022-M	15/09/2022	M-1618-2022	Modificado	76	-22

D Datos resaltados representan muestras con incumplimiento del valor especificado

Se destaca que en su mayoría los resultados obtenidos evidencian que para el plantel de producción de CHEC Rama 1 se cumplió el valor de grado de desempeño alto especificado por los diseños de mezcla asfáltica con un 88% de las muestras que presentan una clasificación en la temperatura superior del PG de 76. No obstante, para la muestra del 02 de octubre del 2020 se obtuvo una clasificación PG70-22 y para la muestra del 19 de mayo del 2021 se obtuvo una clasificación PG70-28, ambos resultados con un grado de desempeño que no satisface el requerido, sobre estos resultados se destaca que, para ambas muestras del asfalto convencional utilizado como referencia, se obtuvo una clasificación en el PG superior de 64.

Por lo cual, las muestras mencionadas anteriormente con una clasificación PG distinta (menor) evidencian un incumplimiento de lo especificado contractualmente, esto debido a que tanto el diseño vigente de mezcla con TMN de 19,0 mm (Informe OJM-E1-10-28-2022) como el de 12,5 mm (Informe OJM-10-19-2022) utilizados en Rama 1 destacan para el ligante asfáltico modificado lo siguiente:

*“Por lo tanto, de acuerdo con los valores obtenidos y en aras de garantizar la durabilidad de la obra al utilizar la condición más crítica que se pueda presentar **en el proyecto se establece el PG 76 como requerimiento aplicable para el asfalto a utilizar;** garantizando de esta manera en las condiciones más críticas el adecuado desempeño de la mezcla asfáltica.”* (El destacado no es del original)

Por su parte, para las muestras obtenidas en el plantel de producción de CHEC Barbilla Rama 2, se pueden observar los resultados obtenidos por el LanammeUCR en la Tabla 11.

Tabla 11. Clasificación por grado de desempeño de muestras aleatorias de ligante asfáltico modificado de Rama 2 tomadas por el LanammeUCR.

Informe de laboratorio	Fecha de muestreo	Número de muestra	Tipo de asfalto	PG Superior	PG inferior
I-0355-2021	19/1/2021	M-0077-2021	Modificado	70	-22
I-0482-2021	20/4/2021	M-0622-2021	Modificado	76	-22
I-0586-2021	30/4/2021	M-0730-2021	Modificado	76	-22
I-0612-2021	07/5/2021	M-0767-2021	Modificado	76	-22
I-0657-2021	19/5/2021	M-0824-2021	Modificado	76	-22
EIC-Lanamme-INF-0600-2022	15/4/2022	M-0622-2022	Modificado	76	-16
EIC-Lanamme-INF-0641-2022	18/5/2022	M-0722-2022	Modificado	76	-22
EIC-Lanamme-INF-0775-2022	22/6/2022	M-0842-2022	Modificado	76	-22
EIC-Lanamme-INF-0820-2022	21/6/2022	M-0996-2022	Modificado	76	-22
EIC-Lanamme-INF-1014-2022	12/7/2022	M-1162-2022	Modificado	76	-22
EIC-Lanamme-INF-1094-2022	27/7/2022	M-1287-2022	Modificado	76	-22
EIC-Lanamme-INF-1418-2022	09/8/2022	M-1330-2022	Modificado	76	-22

Para este sector los informes de diseño de mezcla asfáltica establecen requisitos distintos para el grado de desempeño según el TMN de la mezcla, tal y como se evidencia en la Tabla 8, la mezcla con TMN de 19,0 mm requiere un asfalto de clasificación 70 para el grado superior,



mientras que las mezclas con TMN de 12,5 mm se requiere un asfalto de clasificación 76 para el grado superior.

No obstante, llama la atención del Equipo Auditor que la temperatura superior del grado de desempeño requerida para el diseño de mezcla de 19,0 mm (diseño E1-10-12-2020) solicite un valor menor al requerido para la mezcla de 12,5 mm (diseño OJM 10-27-2021) ya que al tratarse de mezclas colocadas en el sector de Rama 2, los valores de entrada para la selección del grado de desempeño no deberían variar entre una mezcla y otra, siendo que la temperatura promedio del pavimento, el nivel de confianza, y las condiciones de velocidad y tránsito son exactamente las mismas. Sobre esto, se destaca que, de acuerdo con lo indicado en el documento de descargo CSRN32-0429-2023, esa diferencia se debe a que para la mezcla de 19,0 mm no se realizó el análisis para la condición de flujo lento, sin embargo, no se establece el criterio que privó para no ejecutar dicho análisis en el diseño.

Los resultados de ensayo para el asfalto modificado tomado en este plantel de producción evidencian que para la muestra M-0077-2021 tomada el 19 de enero del 2021 se registró una clasificación de PG70-22, si bien el valor obtenido se encuentra dentro de la especificación establecida en el caso de utilizarse para el diseño de mezcla de TMN de 19,0 mm, se debe tomar en consideración que tal y como se detalló en el hallazgo anterior para ese muestreo se registró un incumplimiento en el ensayo del punto de ablandamiento, por lo cual siendo que los resultados muestran una tendencia a un grado de desempeño mayor, esto puede representar un proceso de modificación deficiente para ese muestreo específico.

No obstante, para ese sector las muestras tomadas posteriormente presentan una clasificación de PG para el grado superior de 76, lo cual es indicativo de que se realizaron ajustes a la modificación del ligante asfáltico convencional para el cumplimiento de las especificaciones contractuales.

Por otro lado, en el sector denominado como Rama 3, se realizaron muestreos de ligante asfáltico en dos plantas de producción, en primer lugar del Contratista HSolís quien ejecuta las obras en el tramo comprendido entre los estacionamientos 135+200 al 144+465 y el Contratista MECO quien se encarga del tramo entre el 144+465 y el 153+500, así como un tramo en el sector de Rama 1 entre el 99+880 al 110+400, razón por la cual, el requisito de grado de desempeño en la temperatura superior que aplica para estos dos planteles de producción de mezcla es de 76. En la Tabla 12 se observan los resultados obtenidos para estos muestreos.

Tabla 12. Clasificación por grado de desempeño de muestras aleatorias de ligante asfáltico modificado de Rama 3 tomadas por el LanammeUCR.

Informe de laboratorio	Sector	Fecha de muestreo	Número de muestra	Tipo de asfalto	PG Superior	PG inferior
I-0772-2021	R3 (HS)	03/06/2021	M-0996-2021	Modificado	70	-22
EIC-Lanamme-INF-0704-2022	R3 (MECO)	14/06/2022	M-0834-2022	Modificado	70	-22
EIC-Lanamme-INF-0819-2022	R3 (MECO)	21/06/2022	M-0991-2022	Modificado	70	-22
EIC-Lanamme-INF-1095-2022	R3 (MECO)	28/07/2022	M-1294-2022	Modificado	70	-22



Informe de laboratorio	Sector	Fecha de muestreo	Número de muestra	Tipo de asfalto	PG Superior	PG inferior
EIC-Lanamme-INF-1400-2022	R3 (MECO)	09/08/2022	M-1332-2022	Modificado	70	-22

D Datos resaltados representan muestras con incumplimiento del valor especificado

Según los datos anteriores, se puede apreciar que para el caso del plantel del Contratista HSolís, únicamente se realizó un muestreo, el cual presentó una temperatura superior según la clasificación PG que es inferior a la requerida contractualmente, además, se destaca que esta muestra fue la que presentó el incumplimiento en la prueba de punto de ablandamiento tal y como se indicó en el hallazgo anterior. Al respecto, el Gestor del proyecto indicó en el oficio CSRN32-0893-2022 del 28 de julio del 2022 que los resultados de la verificación también reflejaron incumplimientos en el ligante asfáltico del día 03/06/2021 por lo cual se realizó la apertura de una No Conformidad (NC-435). A la fecha no se tiene conocimiento del cierre de esta no conformidad por parte de la Ingeniería de Proyecto.

Por otro lado, se evidencia en la Tabla 12 que las cuatro muestras obtenidas del plantel del Contratista MECO presentaron una clasificación por grado de desempeño de PG70-22, no obstante, tal y como se indicó en la Tabla 8 el grado de desempeño superior requerido es de 76, asimismo, tanto el diseño ITP-008-22 (MAC con TMN de 19 mm) como el CD-ITP-115-2022-05-C02 (MAC con TMN de 12,5 mm) son claros en establecer lo siguiente para la modificación del asfalto convencional:

*El ligante asfáltico base AC-30 se modificó con 1,2% de ELVALOY (terpolímero elastomérico reactivo RET, DuPont Packaging & Industrial Polymers, ver Anexo 2) y 0,2% de ácido poli fosfórico (en adelante PPA) en el laboratorio para realizar la clasificación por grado de desempeño PG acorde al procedimiento de clasificación AASHTO M-320 "Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder". **El objetivo de esta fase fue comprobar que la dosis de ELVALOY y PPA fueran las adecuadas para alcanzar un grado por desempeño PG 76, de acuerdo con las solicitudes del proyecto.*** (El destacado no es del original)

Por lo cual, a partir de los resultados obtenidos se puede indicar que los cuatro muestreos realizados en ese plantel, incumplen con el valor de PG superior requerido para esos tramos del proyecto. Asimismo, se debe señalar que el Equipo Auditor advirtió sobre estos incumplimientos, mediante la nota EIC-Lanamme-613-2022 del 19 de julio del 2022, en la cual se remitió el informe de laboratorio EIC-Lanamme-INF-0819-2022 informando sobre el incumplimiento del asfalto modificado.

En respuesta, la Supervisión indicó por medio del oficio CSRN32-0893-2022 del 28 de julio del 2022 que a partir de los resultados de la Verificación no se habían detectado incumplimientos de este parámetro, pero que debido a los resultados que habían sido enviados por el Equipo Auditor, han comunicado al contratista y a los subcontratistas la necesidad de mantener un control de los procesos de modificación; pese a esta información se debe mencionar que para muestras posteriores ensayadas por el LanammeUCR también se presentaron incumplimientos en ese parámetro tal y como es el caso de la muestra M-1332-2022 del 09 de agosto del 2022.

EIC-Lanamme-INF-0107-2023	Agosto, 2023	Página 46 de 101
---------------------------	--------------	------------------



Además, se destaca que, mediante el oficio CSRN32-1229-2022 del 04 de octubre del 2022, el Gestor del proyecto indicó que, para el caso particular del Contratista MECO, este se encontraba realizando pruebas con el objetivo de modificar el porcentaje de polímero que se adiciona a la mezcla, no obstante, a la fecha de cierre de este informe el Equipo Auditor no ha recibido notificación de alguna modificación aprobada.

En relación con los incumplimientos detectados en el grado de desempeño se debe destacar que, la elección del grado de desempeño con el que debe cumplir el ligante asfáltico corresponde a un proceso de diseño, que debe contemplar las diferentes características del proyecto que se está ejecutando, en función del clima predominante, el tipo de tránsito y la velocidad de operación esperada durante la vida útil de la carretera.

Razón por la cual, resulta fundamental verificar regularmente si se está alcanzando el grado de desempeño requerido, o por lo contrario analizar los distintos factores que pueden afectar el proceso de modificación tales como, la velocidad de agitación, la condición y tipo del agente modificante e inclusive las características del ligante asfáltico base que se modifica, de manera que sea posible identificar cambios de previo a la producción de la mezcla asfáltica y su colocación en sitio.

La clasificación del ligante asfáltico modificado con el que se produce la mezcla constituye una de las distintas características que puede influir en el desempeño final de este material, en el sentido de que el grado de desempeño superior representa la temperatura máxima a la cual el ligante asfáltico exhibe un comportamiento adecuado ante las condiciones climáticas y de tránsito del proyecto, por lo cual, los incumplimientos detectados representan una mayor susceptibilidad ante fenómenos de deterioro de deformación permanente como ahuellamientos, corrugaciones y desplazamientos.

SOBRE LA MEZCLA ASFÁLTICA

El presente análisis de la calidad de la mezcla asfáltica producida para el proyecto se fundamenta en los resultados obtenidos por el Laboratorio de Verificación de la Calidad y en los muestreos realizados por el LanammeUCR como parte del proceso de fiscalización externa. El periodo de evaluación para este análisis contempla el lapso comprendido entre los meses de junio del 2020 a junio del 2022. Por otro lado, se destaca que la información de la Supervisión se fundamenta en la revisión de los informes de verificación de la calidad que han sido remitidos al Equipo Auditor durante el periodo de la auditoría.

Este proyecto en particular está dividido en diferentes sectores en función del contratista o subcontratista que ejecuta las obras, en la siguiente tabla se pueden apreciar los tramos que abarca cada sector, así como la planta de producción de mezcla asfáltica que se utiliza para esas zonas:



Tabla 13. Plantas de producción de mezcla asfáltica que se utilizan en el proyecto según contratista o subcontratista.

Sección	Tramo	Contratista o Subcontratista	Plantel de producción de mezcla asfáltica
Rama 1	49+500 - 99+880	CHEC	Plantel CHEC Río Frio
Rama 1	99+880 - 110+400	MECO	Plantel MECO La Marina
Rama 2	110+400 - 135+200	CHEC	Plantel CHEC Barbilla
Rama 3	135+200 - 144+465	HSolís	Plantel HSolís Río Frío
Rama 3	144+465 - 153+500	MECO	Plantel MECO La Marina

Asimismo, se destaca que, de acuerdo con los diseños de la estructura de pavimento, se especifican dos tipos de mezcla asfáltica para el proyecto, las cuales presentan requisitos de alto desempeño según el CR-2010, por lo tanto, se utiliza una mezcla asfáltica con tamaño máximo nominal (TMN) de 19,0 mm modificada con polímero para la capa intermedia y una mezcla también modificada con polímero con TMN de 12,5 mm para la capa de rodadura.

En virtud de lo anterior, para el presente análisis se toman en consideración distintos diseños de mezcla según el plantel de producción, además, se destaca que algunos de estos se han modificado en el plazo de ejecución del proyecto, no obstante, para el periodo que abarca este informe únicamente se toman en consideración los informes de diseño de mezcla asfáltica que se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14. Plantas de producción de mezcla asfáltica que se utilizan en el proyecto según contratista o subcontratista

Sector	TMN del diseño de mezcla	Informe de diseño
Plantel CHEC Río Frio	19 mm	OJM 10-05-2020
	12,5 mm	OJM 10-29-2020 / OJM 10-26-2021
Plantel CHEC Barbilla	19 mm	OJM 10-12-2020
	12,5 mm	OJM 10-27-2021
Plantel HSolís Río Frío	19 mm	OJM-10-30-2020
	12,5 mm	OJM-10-08-2020
Plantel MECO La Marina	19 mm	ITP-008-22
	12,5 mm	CD-ITP-115-2022-05-C02

HALLAZGO No. 4. SE IDENTIFICARON INCUMPLIMIENTOS EN ALGUNOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON TMN DE 19,0 MM Y DE 12,5 MM A PARTIR DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD Y EL LANAMMEUCR.

Uno de los aspectos fundamentales en el control de calidad de la mezcla asfáltica en caliente corresponde a la evaluación de las proporciones volumétricas del ligante asfáltico y el agregado, esto se realiza mediante la determinación de diferentes parámetros o indicadores volumétricos que se definen de acuerdo con la metodología de diseño empleada para el material.

Para el proyecto auditado, los diseños evaluados en este análisis se realizaron de conformidad con los lineamientos de diseño SUPERPAVE, por lo cual, se toman en consideración los



parámetros de VMA, VFA, la relación polvo/asfalto, el contenido de vacíos y el contenido de asfalto sobre el peso total de la mezcla.

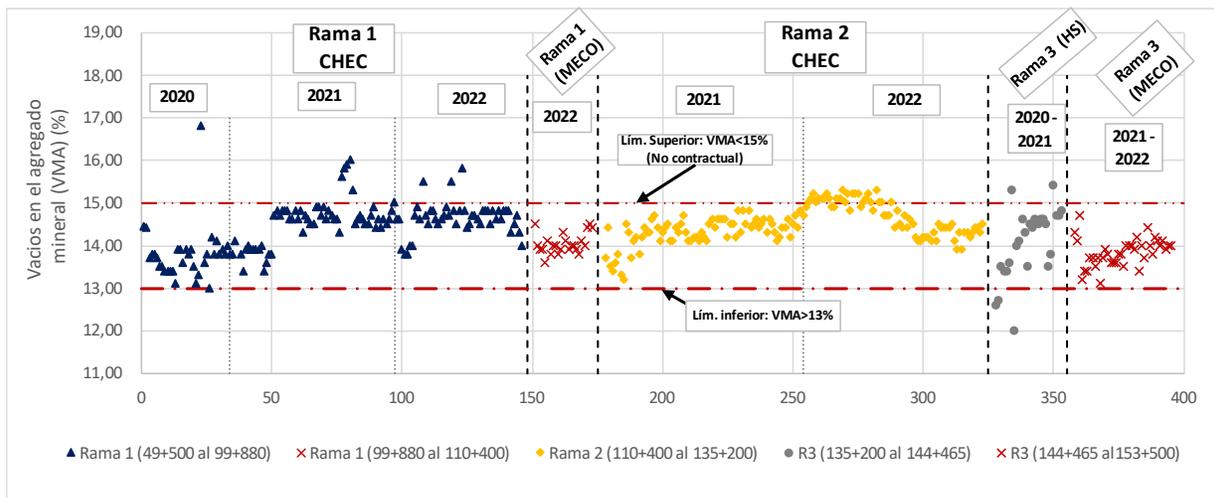
Sobre la mezcla asfáltica con TMN de 19,0 mm utilizada como capa de intermedia

1. Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Como parte de los parámetros volumétricos por analizar, se encuentran los vacíos en el agregado mineral (VMA), el cual representa precisamente el volumen de los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo que se encuentran dentro de una muestra compactada y que se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla.

Para el caso de las mezclas con TMN de 19,0 mm, la especificación nacional establece que se debe cumplir con un valor mínimo de 13 %. En la Figura 15 se pueden observar gráficamente los resultados obtenidos por la Supervisión en el periodo de análisis.

Figura 15. Resumen de resultados del parámetro VMA para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 19,0 mm realizados por la Supervisión en las diferentes plantas de producción. Fuente: Informes de verificación, CACISA. Periodo: junio 2020-junio 2022.



Según el gráfico anterior, en el caso de las muestras obtenidas del plantel de producción de CHEC Rama 1, se evidencia que todos los resultados se encuentran por encima del límite de especificación, por lo que para ese plantel de producción no se registraron incumplimientos contractuales según ese parámetro.

No obstante, de acuerdo con el Instituto del Asfalto, se recomienda establecer un límite superior para el VMA, en un 2 % por encima del límite inferior establecido según el tipo de mezcla, en este caso, el valor máximo recomendado corresponde a 15%, esto debido a que las muestras pueden registrar un comportamiento inestable con resultados de VMA por encima de dicho valor, no obstante, se debe destacar que este valor superior no corresponde a un requisito contractual para el parámetro VMA. Tal y como se aprecia en la Figura 15, para ese plantel se registraron 10 muestras por encima del valor superior recomendado entre los años 2021 y 2022, lo que corresponde a un 6,84% del total de las muestras analizadas.

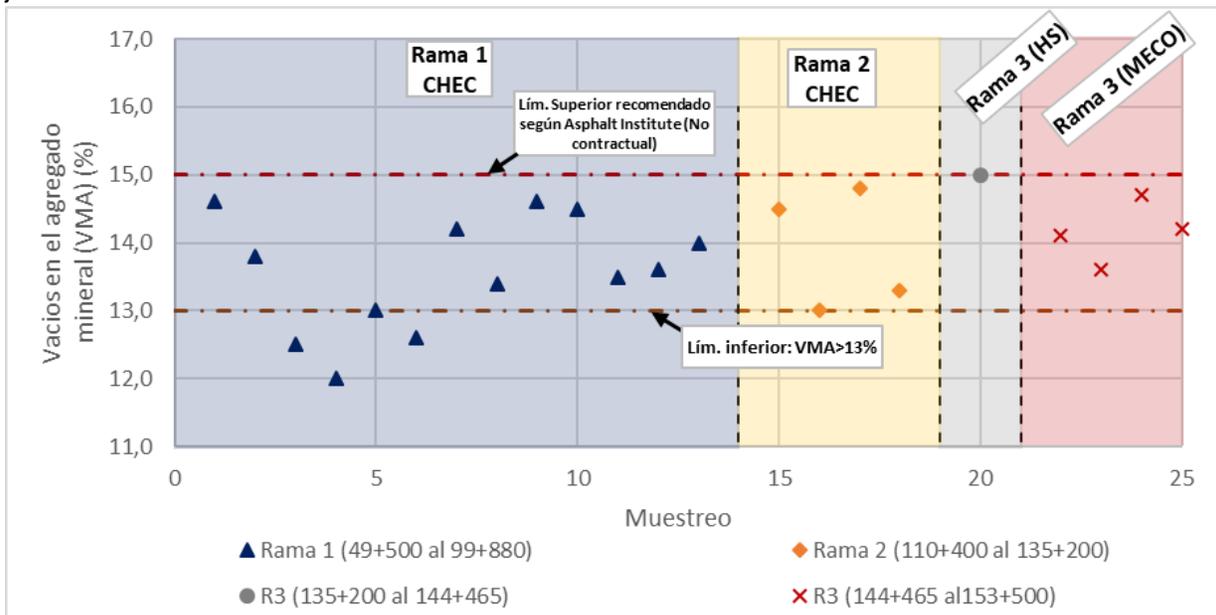


Por su parte, en los muestreos realizados en el sector de Rama 1 y el sector de Rama 3 de la mezcla proveniente del plantel de MECO en La Marina, no se registraron valores inferiores al 13% ni resultados por encima del 15% anteriormente mencionado. Para el plantel de CHEC Rama 2 Barbilla, un 11% de los muestreos realizados para ese sector presentaron un resultado por encima del 15%.

En ese mismo orden, las muestras procedentes del plantel del subcontratista HSolís evidencian que únicamente 3 resultados de VMA son inferiores a la especificación contractual, lo cual corresponde a un 11 % de las muestras obtenidas por la Supervisión.

En general, se puede observar que los resultados de la Supervisión evidencian una tendencia a encontrarse por encima del valor mínimo establecido, asimismo, dicha tendencia se puede apreciar también en los resultados de los muestreos realizados por el LanammeUCR, ya que únicamente el 13,6 % de las muestras presentan un valor de VMA inferior al 13 %, siendo que estos incumplimientos se registraron para muestras obtenidas del plantel de producción de CHEC Rama 1, tal y como se aprecia en la Figura 16.

Figura 16. Resumen de resultados del parámetro VMA para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 19,0 mm realizados por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción. Periodo junio 2020 – junio 2022.



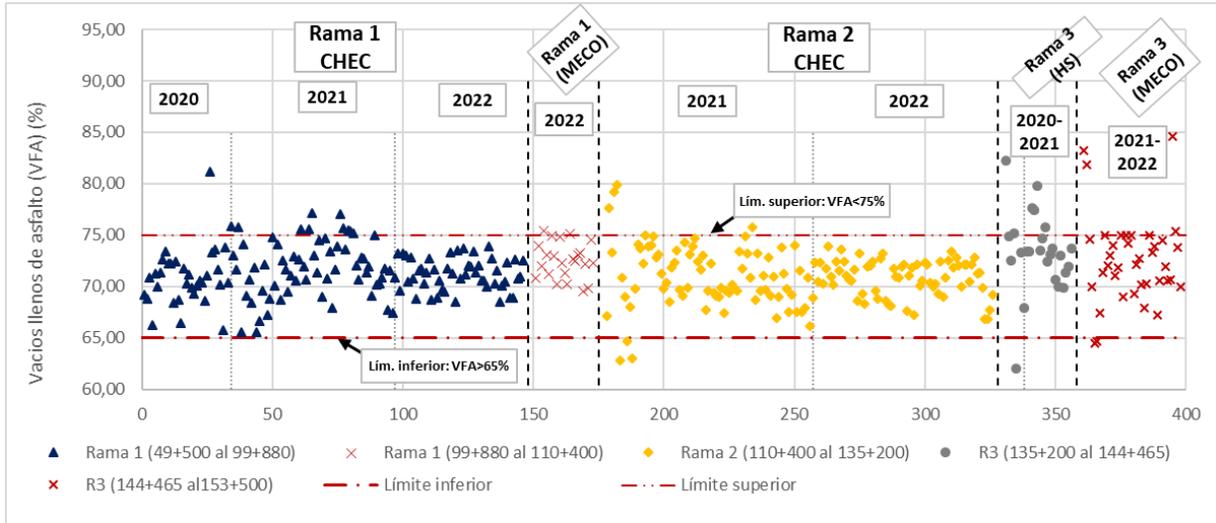
2. Vacíos llenos de asfalto (VFA)

Por su parte, el segundo parámetro por analizar, corresponde a los vacíos llenos de asfalto (VFA), los cuales corresponden a la fracción del VMA que es llenada con el ligante asfáltico expresada como porcentaje, por lo tanto, esta relación no contempla el asfalto absorbido por los agregados. Para el VFA, el CR-2010 establece distintos rangos de especificación en función del nivel de tránsito que se proyecta para la obra, en el caso de la ampliación de la RN No. 32 el rango aplicable para los diseños se define como 65 % como límite inferior hasta 75 % como valor máximo.



En la Figura 17 se pueden observar gráficamente los resultados obtenidos por la Supervisión en el periodo de análisis.

Figura 17. Resumen de resultados del parámetro VFA para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 19,0 mm realizados por la Supervisión en las diferentes plantas de producción. Fuente: Informes de verificación, CACISA. Periodo junio 2020 – junio 2022.



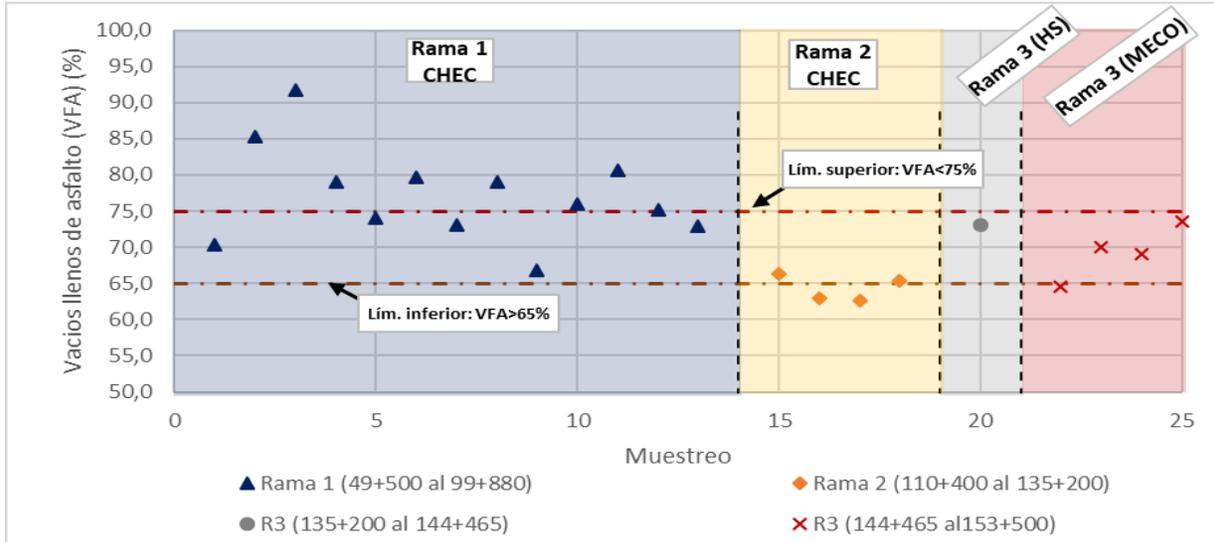
Los datos del gráfico anterior indican que para el plantel de CHEC Rama 1, se identificaron 11 muestras que presentan incumplimientos del parámetro VFA, lo cual representa un 7,5 % de los datos que han sido obtenidos para ese sector, se destaca además que los incumplimientos se presentan en el límite superior lo cual puede ser indicio de mezclas que presentan contenidos de asfalto por encima del valor requerido siendo que el valor más alto evidenciado corresponde a un 81,2%, no obstante, los datos no presentan una tendencia a agruparse hacia alguno de los extremos, pues tal y como se observa en la Figura 17 estos se encuentran dispersos en el rango de la especificación.

Por su parte, las muestras provenientes del plantel de MECO evidencian que el 13,1 % de los datos presentan incumplimientos del parámetro VFA, lo que corresponde a 8 muestras con inconsistencias. Se destaca además que para la mezcla de esa planta de producción colocada en el sector de Rama 3, se presentaron incumplimientos del valor mínimo de VFA requerido. La mezcla asfáltica producida que presentó menos incumplimientos de este indicador, en la mezcla de 19,0 mm, corresponde al plantel de producción de CHEC Rama 2, con únicamente un 5 % de las muestras (7 de 149 muestras) que se encuentran por fuera del rango especificado. Adicionalmente, las muestras del plantel de HSolís evidencian una tendencia de los datos hacia el límite superior de la especificación, con un 30 % de los datos con incumplimientos del VFA.

Por otro lado, los resultados del LanammeUCR, se pueden observar en la Figura 18.



Figura 18. Resumen de resultados del parámetro VFA para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 19,0 mm realizados por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción. Periodo junio 2020 – junio 2022.



Si bien a partir de los resultados de la Supervisión se aprecia que la mayoría de los datos se encuentran dentro de la especificación, esa tendencia no se identificó claramente para las muestras obtenidas por el LanammeUCR, esto ya que el 40 % de los resultados obtenidos se encuentra por fuera de los límites establecidos contractualmente. Asimismo, se identificó que, las muestras de mezcla asfáltica tomadas en el plantel de CHEC Rama 1 son los que presentan una mayor cantidad de incumplimientos con 7 de 13 muestras por encima del límite superior, las cuales corresponden a mezclas colocadas durante el año 2021 principalmente.

Sobre los incumplimientos registrados en muestras de MAC ensayadas por el LanammeUCR y de la Supervisión en los parámetros VFA y VMA, se debe comentar que estos parámetros se suelen asociar con la estabilidad de la mezcla asfáltica, debido a la susceptibilidad a cambios volumétricos ante la aplicación de las cargas del tránsito, donde las alteraciones se desarrollan de diferente manera a los fenómenos de deformación permanente (medidos por lo ensayos APA y Rueda de Hamburgo). Habitualmente el ahuellamiento o la formación de abultamientos están asociados a deformaciones permanentes, en tanto que la exudación de asfalto, a cambios de volumen, sin embargo, estos cambios de volumen también se manifiestan como deformaciones. Se destaca que en el proyecto, el Equipo Auditor, únicamente ha detectado deterioros puntuales en algunos sectores del proyecto asociados a la deformación permanente, además, tal y como se desarrolla en el Hallazgo No. 6 los resultados de ensayos de deformación permanente han evidenciado un buen comportamiento de la mezcla ante ese fenómeno.

Sin embargo, se debe comprender que esto no elimina el riesgo de que los deterioros se presenten en el proyecto en el mediano o largo plazo. Adicionalmente, se debe comprender que incumplimientos de estos parámetros suelen ser provocados por modificaciones en las propiedades intrínsecas de los materiales que se utilizan para la producción de la mezcla,



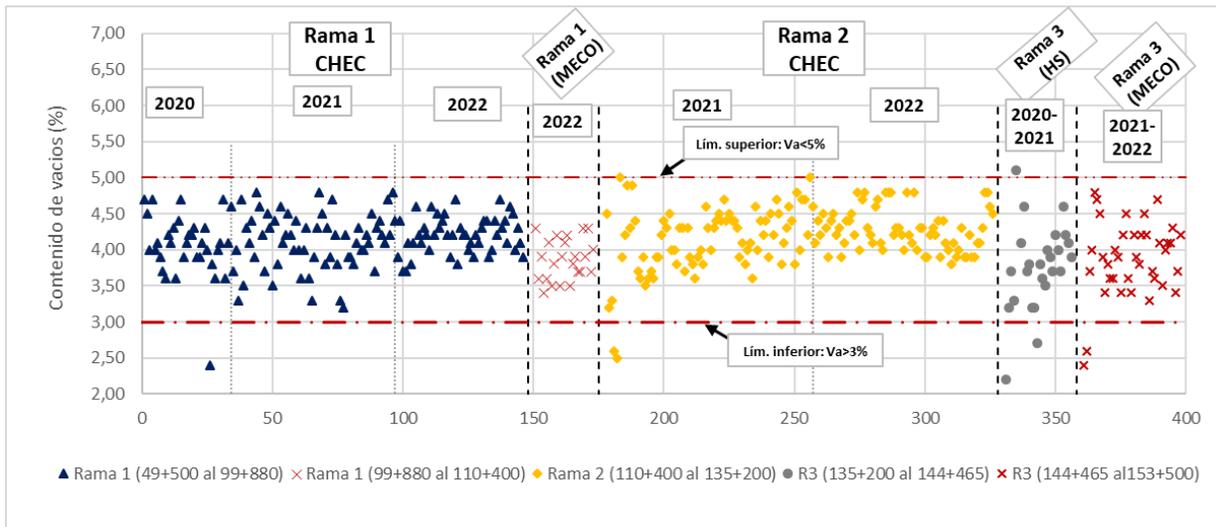
agregados con mayor o menor absorción, forma de las partículas, procesos de modificación del ligante incorrectos o una incorrecta dosificación de los materiales.

3. Contenido de vacíos

Otro de los parámetros que se evalúa en la gestión del control de la calidad de la mezcla asfáltica corresponde al contenido de vacíos, el cual representa los espacios llenos de aire que permanecen en la mezcla asfáltica después de un proceso de compactación, esto expresado como un porcentaje del peso total de la mezcla. De acuerdo con la metodología de diseño SUPERPAVE, para las muestras que se toman en la góndola de la vagoneta previo a ser extendidas y compactadas in situ, la especificación de vacíos corresponde al rango entre 3% y 5%.

Durante el periodo que abarca este análisis, el laboratorio de verificación ha realizado 382 muestreos, los resultados de contenido de vacíos obtenidos se muestran en la siguiente figura.

Figura 19. Resumen de resultados del parámetro de contenido de vacíos para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 19,0 mm realizados por la Supervisión en las diferentes plantas de producción. Fuente: Informes de verificación, CACISA. Periodo junio 2020 – junio 2022.



A partir de la Figura 19, se destaca que únicamente 9 resultados de ensayo distribuidos en el periodo de estudio para las 4 plantas de producción presentan incumplimientos de este parámetro, se señala además que en su mayoría se deben a muestras con porcentajes de vacíos inferiores al 3% establecido, siendo que únicamente para una muestra del plantel del Contratista HSolís se registró un contenido de vacíos superior al 5%. Por lo tanto, a partir de los datos de la Supervisión, se destaca que el 98% de los resultados (373 de 382 muestras) se encuentran en el rango de vacíos establecidos contractualmente.

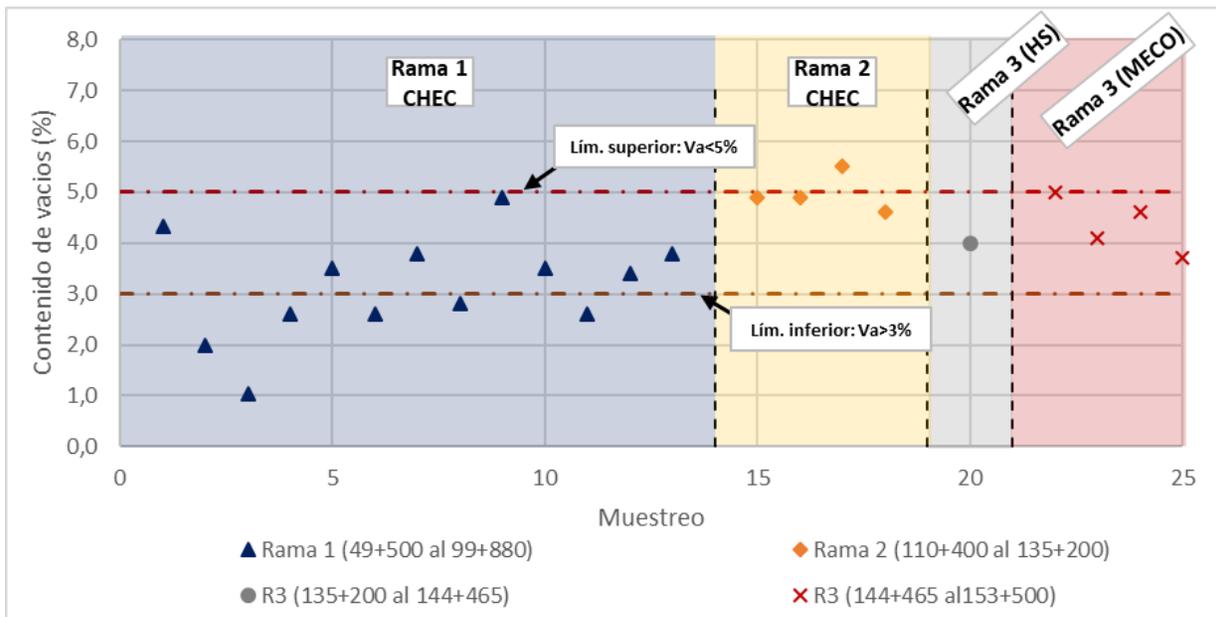
Por su parte, los resultados obtenidos por el LanammeUCR evidencian una mayor cantidad de muestras con incumplimientos; los muestreos correspondientes al plantel de CHEC Rama 1 son los que registraron una mayor cantidad de datos con inconsistencias con 6 de 13 muestras (46,2% de las muestras) con un porcentaje de vacíos inferior al 3%, lo que implica una



tendencia de esas mezclas asfálticas a compactarse con mayor facilidad. Por su parte, en las muestras tomadas en la planta de CHEC Barbilla, únicamente se registró que la muestra tomada el 16/03/2022 presentaba un contenido de vacíos superior al 5% establecido contractualmente, mientras que, para los demás planteles de producción no se identificaron incumplimientos del porcentaje de vacíos para las muestras de MAC de 19,0 mm tomadas por el LanammeUCR.

En la Figura 20 se puede observar gráficamente el resumen de los resultados obtenidos por el LanammeUCR.

Figura 20. Resumen de resultados del parámetro de contenido de vacíos para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 19,0 mm realizados por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción. Periodo junio 2020 – junio 2022.



Es relevante indicar que, los incumplimientos de este parámetro pueden ser provocados por alteraciones en los insumos que componen la mezcla tales como: cambios en la estructura granulométrica, cambios en la forma y cubicidad de los agregados, alteraciones en la dosificación del ligante o agregados, además, se debe mencionar que este parámetro, se puede asociar directamente con el desempeño de la mezcla asfáltica, donde muestras con un contenido de vacíos elevado presentan una mayor susceptibilidad a fenómenos de desprendimiento de partículas y daño por humedad, al tratarse de mezclas más permeables que permiten el paso del agua, por el contrario, muestras con contenidos de vacíos menores corresponden a mezclas más inestables y con mayor susceptibilidad a fenómenos como la exudación.

4. Contenido de asfalto

Por otro lado, un parámetro de importancia en la mezcla asfáltica es el contenido de asfalto, este se puede expresar como un porcentaje sobre el peso total de la muestra o como un

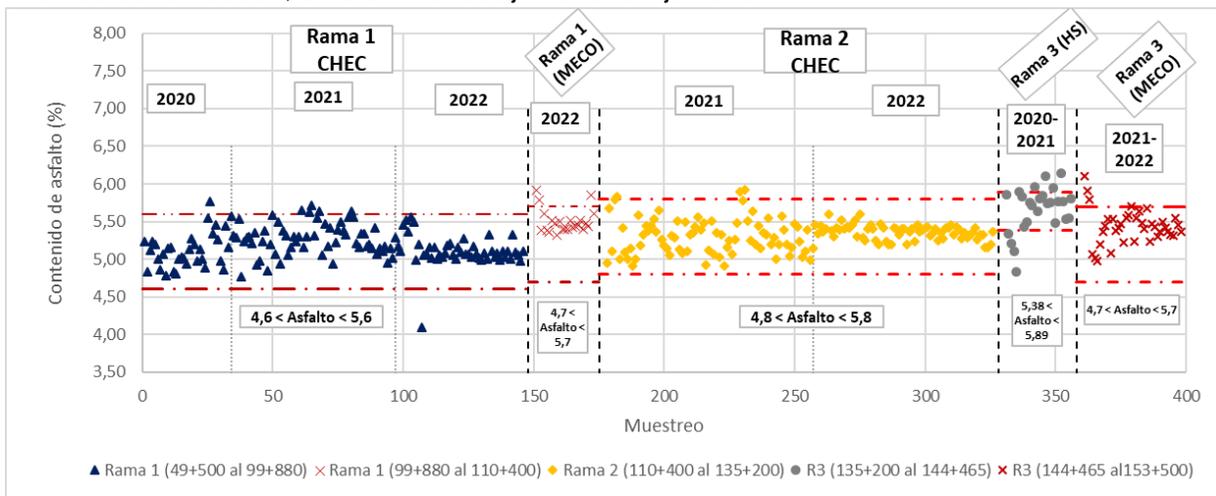


porcentaje sobre el peso de los agregados, para el presente análisis únicamente se toman de referencia los resultados expresados sobre el peso total de la mezcla debido a que la especificación nacional establece un rango de tolerancia de ±0,5% respecto al contenido óptimo según el diseño para ese indicador.

Asimismo, se destaca que, el contenido de asfalto tiene una relación directa con el porcentaje de vacíos que presenta una mezcla asfáltica y por ende con el desempeño que tiene este material ante las cargas del tránsito y las condiciones climáticas, donde se suele relacionar que un contenido de asfalto elevado se asocia a una mayor susceptibilidad ante la deformación permanente, mientras que contenidos de asfalto muy bajos hacen referencia a mezclas asfálticas más rígidas y susceptibles al agrietamiento por fatiga, además, se destaca que la causa de incumplimientos en este parámetro generalmente se ve asociada con inconsistencias en la dosificación del ligante al producir la mezcla asfáltica.

Ahora bien, sobre los resultados obtenidos por la Supervisión, se puede apreciar en la Figura 21 que los datos presentan una tendencia a encontrarse dentro de la tolerancia indicada de acuerdo con los diferentes diseños de mezcla asfáltica, donde se destaca que únicamente 16 de 382 muestras (4,5% de la totalidad de las muestras) presentaron incumplimientos del contenido de asfalto, siendo que en su mayoría esos incumplimientos se encontraron sobre el límite superior, evidenciando mezclas con un contenido de asfalto superior al requerido contractualmente en cada uno de los diseños de MAC, sin embargo, se destaca que para el muestreo del 8/3/2022 en el plantel de CHEC Rama 1 así como para algunos los muestreos del 24/09/2020, 14/10/2020 y 20/10/2020 en el plantel del subcontratista HSolís se obtuvo un contenido de asfalto inferior al recomendado por el diseño de mezcla.

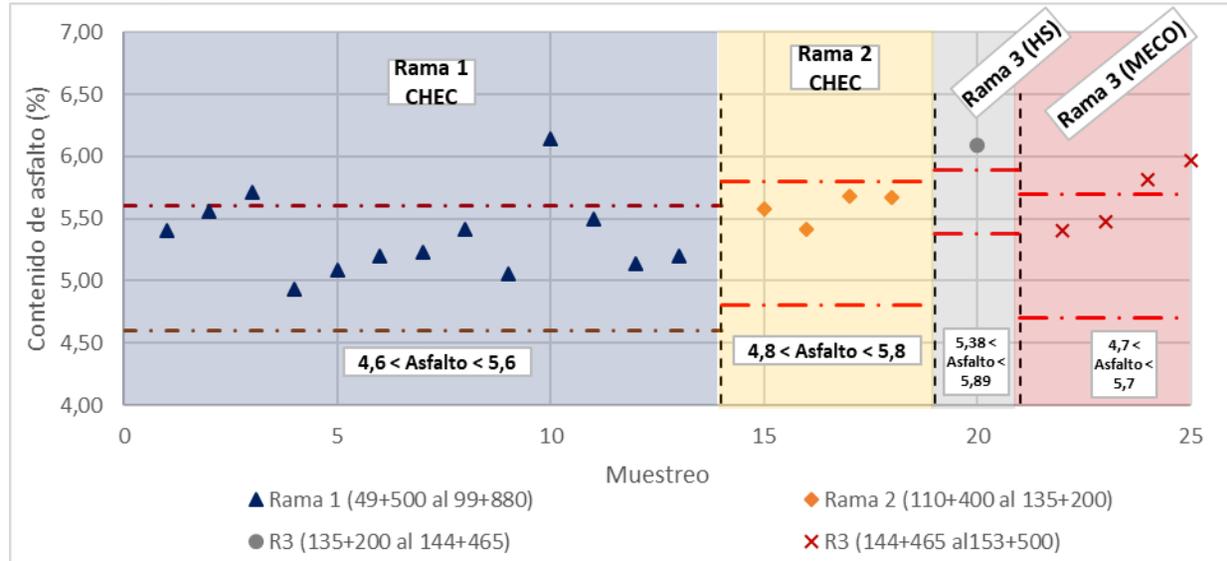
Figura 21. Resumen de resultados del parámetro de contenido de asfalto para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 19,0 mm realizados por la Supervisión en las diferentes plantas de producción. Fuente: Informes de verificación, CACISA. Periodo junio 2020 – junio 2022.





Por su parte, los resultados obtenidos por el LanammeUCR se presentan en la Figura 22.

Figura 22. Resumen de resultados del parámetro de contenido de asfalto para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 19,0 mm realizados por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción. Periodo: junio 2020 – junio 2022.

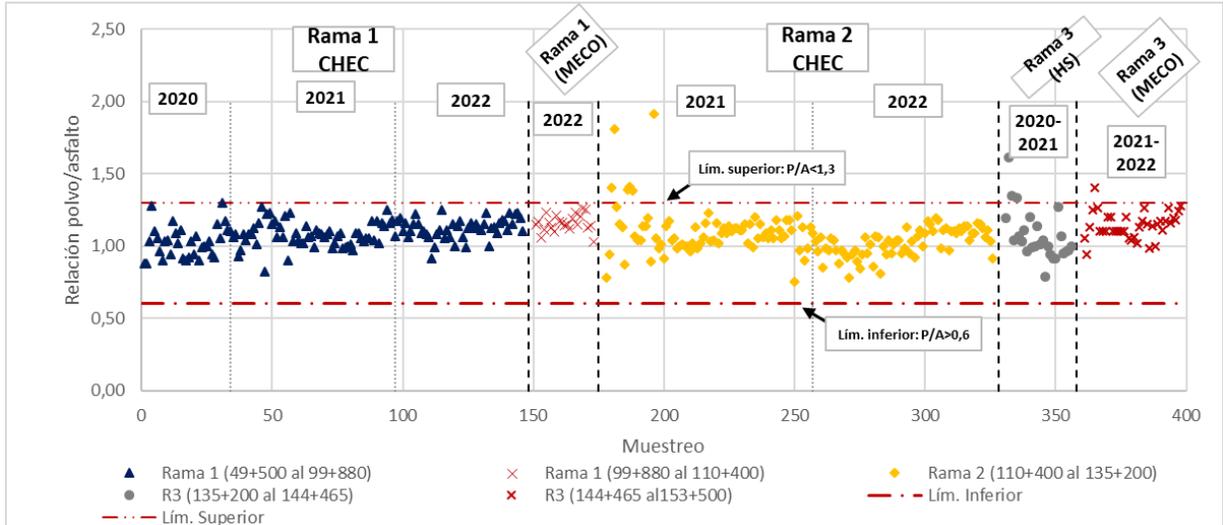


Se puede apreciar en la figura anterior que los resultados del LanammeUCR también presentaron una tendencia a ubicarse dentro de los límites de la especificación ya que para los sectores de Rama 1 y Rama 2 únicamente se registraron 2 incumplimientos entre 17 muestras consideradas, no obstante, para el plantel de HSolís se determinó que la única muestra obtenida presentaba un contenido de asfalto por fuera de la tolerancia permitida de acuerdo con el diseño de mezcla asfáltica, mientras que para el plantel de MECO se registraron 2 de las 4 muestras con contenidos de asfalto superiores al rango establecido por el diseño del material.

5. Relación polvo/asfalto (P/A)

Finalmente, la relación polvo-asfalto constituye otro indicador de la calidad que se evalúa para la mezcla asfáltica, este parámetro representa el cociente entre el porcentaje de agregado más fino que el tamiz 200 y el asfalto efectivo en la mezcla asfáltica (el que no es absorbido por la porosidad de los agregados), de manera que esta relación es de importancia en el desempeño de la mezcla, debido a que estos componentes al interactuar en la producción de mezcla asfáltica forman lo que se denomina como “mastic asfáltico”, elemento que tiene un efecto significativo sobre el comportamiento reológico del asfalto, sobre la durabilidad de la mezcla y sobre la rigidez de la mezcla y su trabajabilidad. A nivel nacional, la especificación establece que para las mezclas asfálticas se debe cumplir que la relación P/A se encuentre entre 0,6 y 1,3. En la Figura 23 se pueden observar los resultados obtenidos por la Supervisión en el periodo de análisis.

Figura 23. Resumen de resultados de la relación polvo/asfalto para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 19,0 mm realizados por la Supervisión en las diferentes plantas de producción. Fuente: Informes de verificación, CACISA. Periodo: junio 2020 – junio 2022.

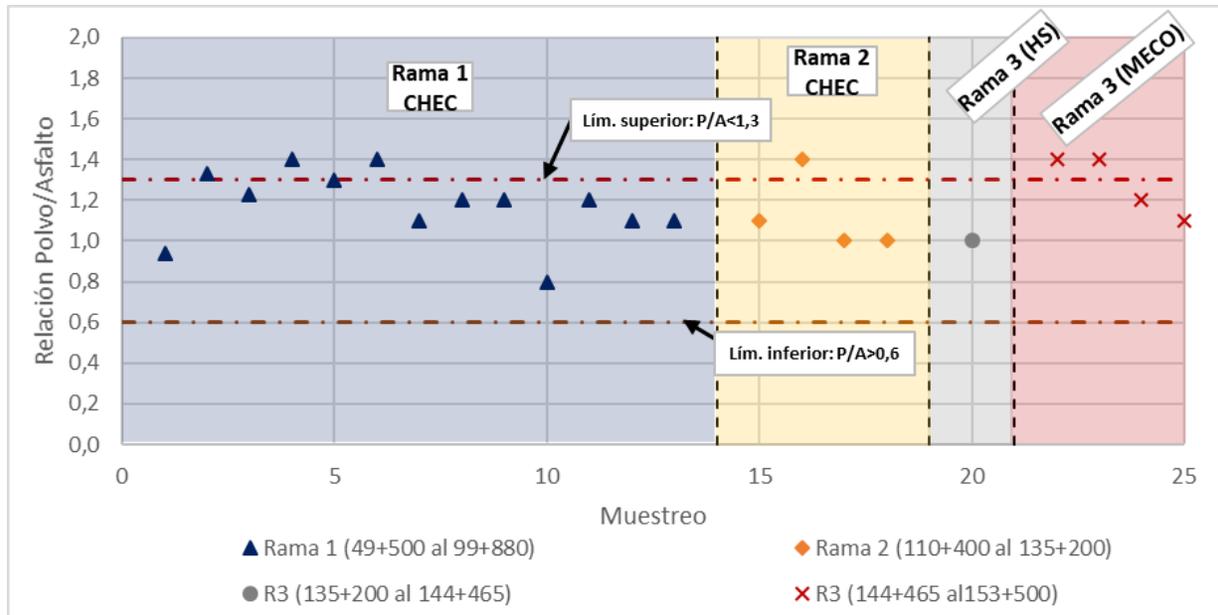


De acuerdo al gráfico anterior, a partir de los resultados de la Supervisión no se evidenciaron incumplimientos de la relación polvo/asfalto en el plantel de CHEC Rama 1, además, para el plantel del Contratista MECO únicamente se registró una muestra con un resultado de P/A superior a 1,3, lo cual evidencia que en esos sectores se ha mantenido un control adecuado de este parámetro durante los meses de producción evaluados en este informe. Adicionalmente, los muestreos realizados en el plantel de CHEC Rama 2 y en el plantel de HSolís se registraron una mayor cantidad de incumplimientos, con 9 muestras que presentaron un P/A por encima del límite superior establecido.

Por su parte, a partir de las muestras obtenidas por el LanammeUCR se determinó que un 27% de los datos presenta un valor superior al límite contractual siendo que en su mayoría estos se registraron en la mezcla producida en el plantel de CHEC Rama 1 (3 de 13 muestras) y en el plantel del Subcontratista MECO (2 de 4 muestras), Asimismo, se resalta que no se registraron incumplimientos del límite inferior. En la Figura 24 se pueden observar los resultados obtenidos por el LanammeUCR en el periodo de análisis, donde se aprecia una tendencia de los resultados hacia el límite superior de la especificación.



Figura 24. Resumen de resultados de la relación polvo/asfalto para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 19,0 mm realizados por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción.



En relación con las muestras que tienen valores mayores a 1,3 en la relación polvo/asfalto, se debe destacar que diferentes investigaciones destacan que las mezclas asfálticas que presentan una proporción P/A elevada sufren un proceso de endurecimiento del asfalto que provoca una mayor fragilidad en el material y consecuentemente las hace más susceptibles al agrietamiento por fatiga.

Sobre la mezcla asfáltica con TMN de 12,5 mm utilizada como capa de rodadura

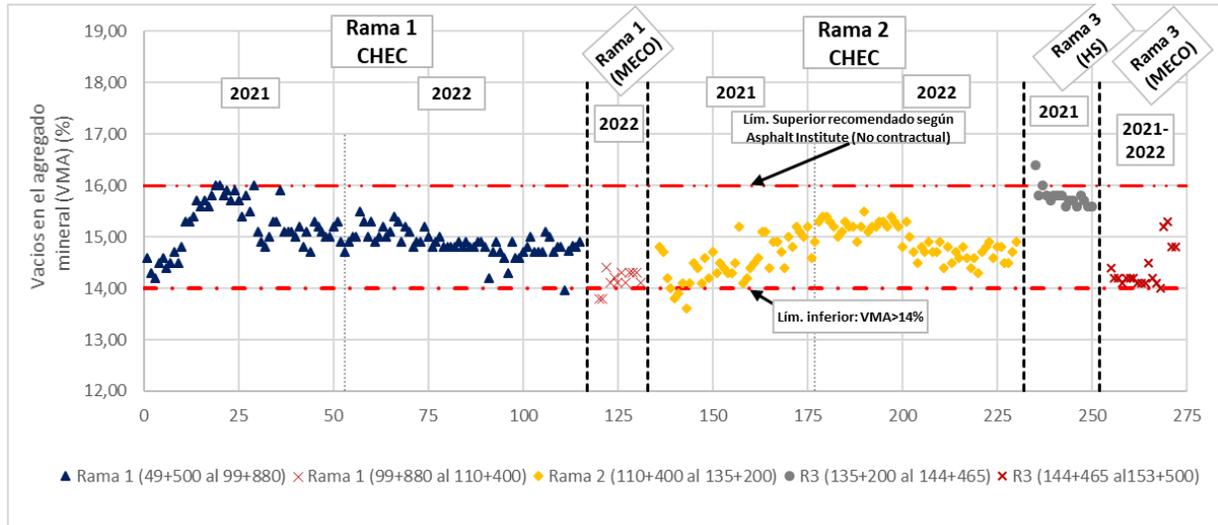
Como parte de esta auditoría, también se han realizado diferentes muestreos de la mezcla asfáltica con TMN de 12,5 mm que se utiliza en el proyecto como capa de rodadura, esto con el objetivo de comprobar de forma aleatoria la calidad del material con el que se desarrolla el proyecto. Durante el lapso que abarca este análisis el LanammeUCR en su rol fiscalizador, realizó 13 muestreos de ese material, mientras que la Supervisión como parte de sus labores de verificación de la calidad asignadas contractualmente realizó 256 muestreos. A continuación, se desarrolla el análisis de los resultados obtenidos por ambos entes.

6. Vacíos en el agregado mineral (VMA)

En relación con el indicador VMA, se destaca que la metodología de diseño establece un valor mínimo de 14%, por lo cual, a partir de lo recomendado por el Instituto del Asfalto, se recomienda que los valores de VMA no excedan un 16%. Se muestran los resultados obtenidos por la Supervisión en la siguiente figura.



Figura 25. Resumen de resultados del parámetro VMA para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 12,5 mm realizados por la Supervisión en las diferentes plantas de producción. Fuente: Informes de verificación, CACISA. Periodo: junio 2020 – junio 2022.



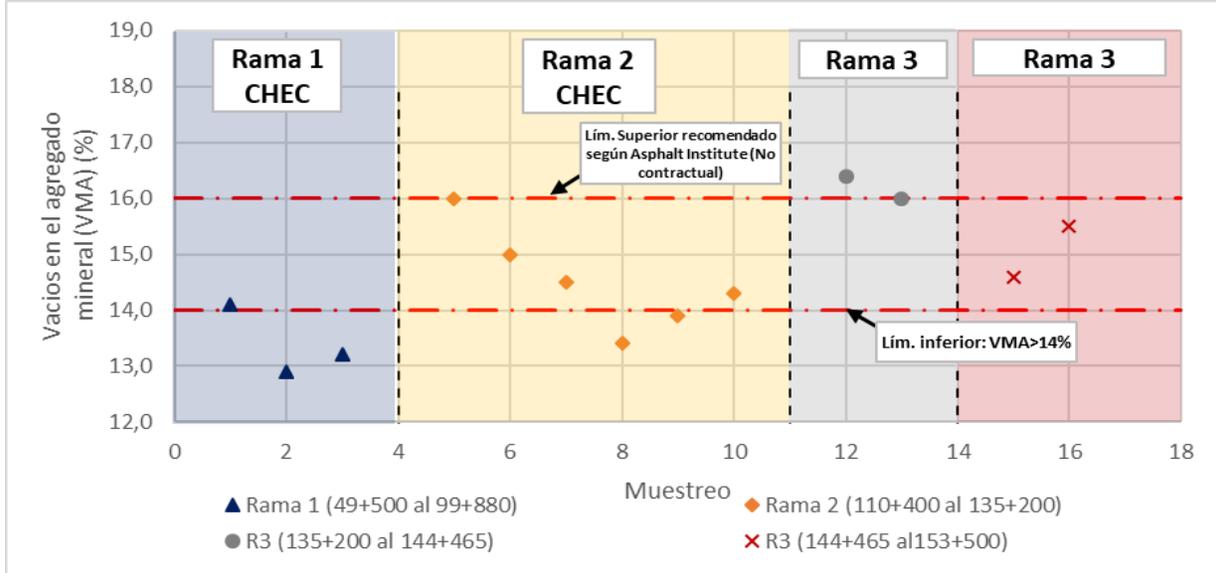
Para la mezcla de 12,5 mm se puede apreciar que los resultados de la Supervisión evidencian una clara tendencia a encontrarse por encima de la especificación, sin embargo, se observa que algunas de las muestras del plantel de producción del Contratista MECO tienden a agruparse en su mayoría hacia el límite inferior con incluso 2 muestras tomadas el 20/04/2022 y el 21/04/2022 que presentan incumplimientos con valores de 13,8 % cada una.

Por su parte en el plantel de CHEC Barbilla (Rama 2) también se registraron incumplimientos en las muestras tomadas el 21/05/2021, 11/06/2021 y el 13/06/2021 con valores de 13,8 %, 13,9% y 13,6% respectivamente. Por otro lado, únicamente una muestra registró un valor superior al límite recomendado por el Instituto del Asfalto, dicha muestra se obtuvo el 27/02/2021 de la planta del Contratista HSolís.

En el caso de las muestras tomadas por el LanammeUCR, la tendencia al cumplimiento mencionada anteriormente para los datos de la Supervisión no se observa claramente, ya que, un 30,8% (4 de 13 muestras) de las muestras de las diferentes plantas registran un VMA inferior al 14 % establecido contractualmente. Estos resultados se pueden observar gráficamente en la siguiente figura.



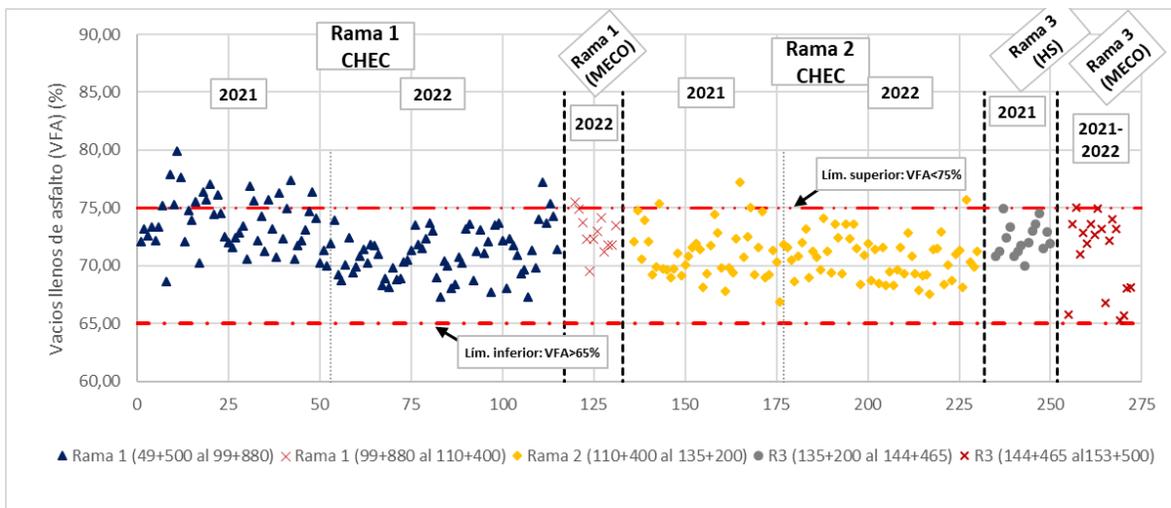
Figura 26. Resumen de resultados del parámetro VMA para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 12,5 mm realizados por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción. Periodo: junio 2020 – junio 2022.



7. Vacíos llenos de asfalto (VFA)

Ahora bien, para el indicador VFA, los resultados obtenidos por la Supervisión se presentan en la Figura 27.

Figura 27. Resumen de resultados del parámetro VFA para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 12,5 mm realizados por la Supervisión en las diferentes plantas de producción. Fuente: Informes de verificación, CACISA. Periodo: junio 2020 – junio 2022.



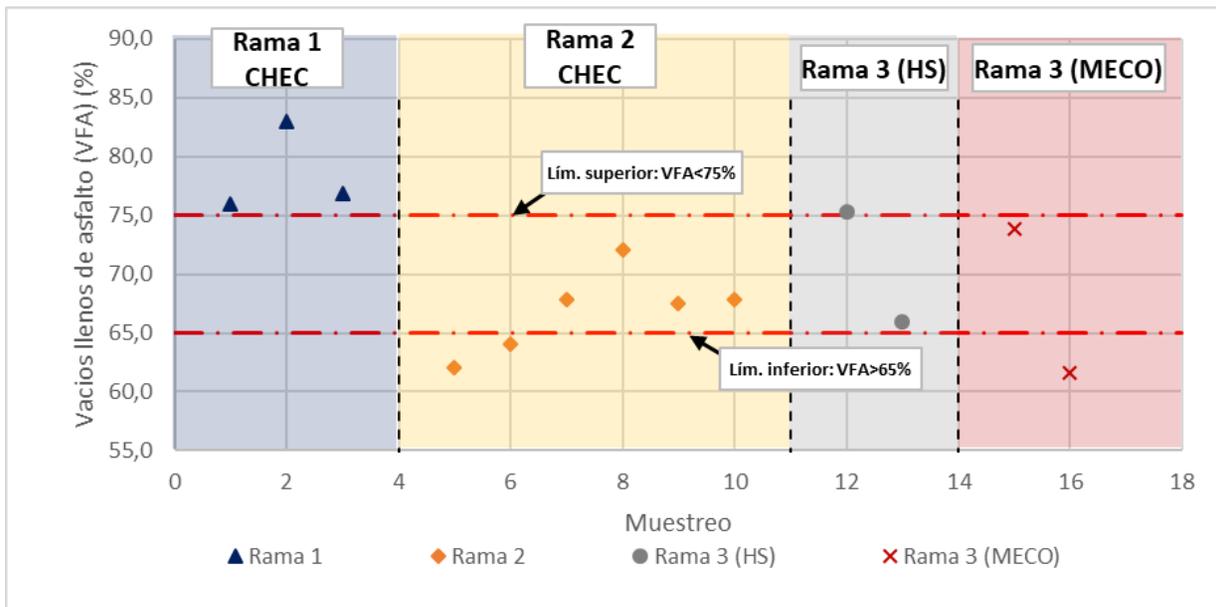
Para el plantel de CHEC Rama 1 los muestreos evidencian una mayor cantidad de datos con incumplimientos, con un 15 % de las muestras que se encuentran por encima del límite



superior, se destaca además que la totalidad de los incumplimientos registrados corresponden a valores por encima del límite superior de 75%, lo cual evidencia que, para las mezclas de 12,5 mm, el ligante asfáltico ocupa un mayor espacio intergranular, el cual, si no es controlado adecuadamente, puede repercutir en la estabilidad del material y su respuesta volumétrica a las cargas vehiculares.

Por su parte, los resultados del LanammeUCR para el parámetro VFA, reflejan una tendencia de las mezclas asfálticas a encontrarse por fuera del rango de tolerancia permitido contractualmente, en el caso de Rama 1 ninguna de las muestras obtenidas cumple con el rango de variación permitido para el VFA, mientras que para la planta de CHEC Rama 2 un 33 % de los datos no satisface el rango permitido. En el caso de HSolís y MECO en la mezcla producida en ambos planteles se registró una muestra por fuera de la especificación. Estos resultados se observan en la Figura 28. Estos incumplimientos del VFA representan un 53 % de las muestras evaluadas por el Lanamme de MAC con TMN de 12,5 mm.

Figura 28. Resumen de resultados del parámetro VFA para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 12,5 mm realizados por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción. Periodo: junio 2020 – junio 2022.



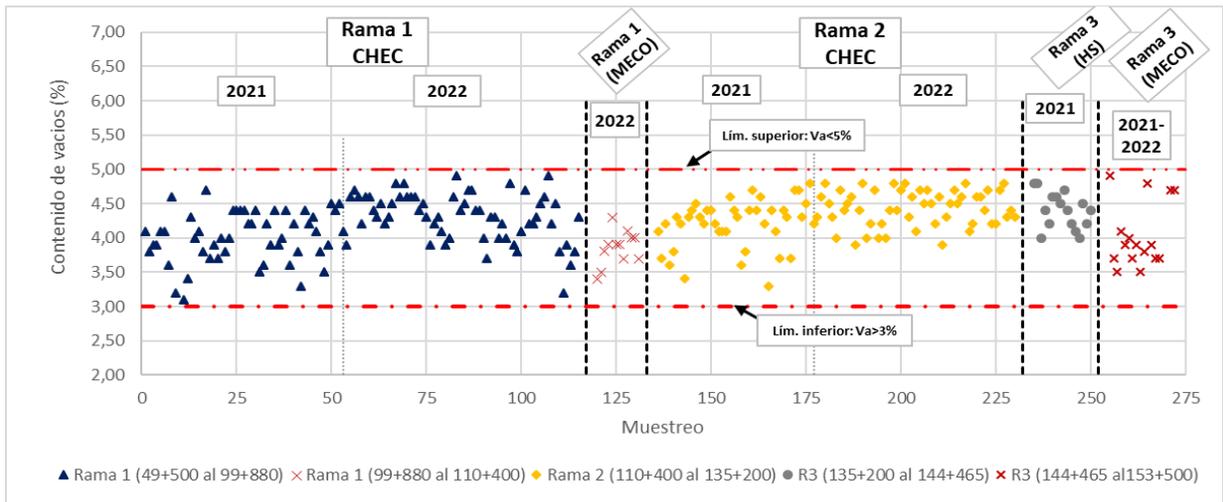
Tal y como se mencionó anteriormente, el incumplimiento de estos parámetros (VFA y VMA) se asocia con la estabilidad de la mezcla y su resistencia a fenómenos de deformación, además, se destaca que las muestras fuera del rango permitido, reflejan una mayor susceptibilidad a fenómenos como la exudación que puede repercutir en el mediano plazo con la seguridad vial de los usuarios al tratarse de la carpeta asfáltica utilizada como capa de rodadura, pues este fenómeno puede reducir el agarre superficial durante maniobras de frenado por parte de los conductores de la vía.



8. Contenido de vacíos

Ahora bien, en cuanto al contenido de vacíos evaluado a partir de los muestreos de la Supervisión, se refleja que la totalidad de los datos obtenidos se encuentran dentro de la tolerancia permitida, tal y como se aprecia en la siguiente figura.

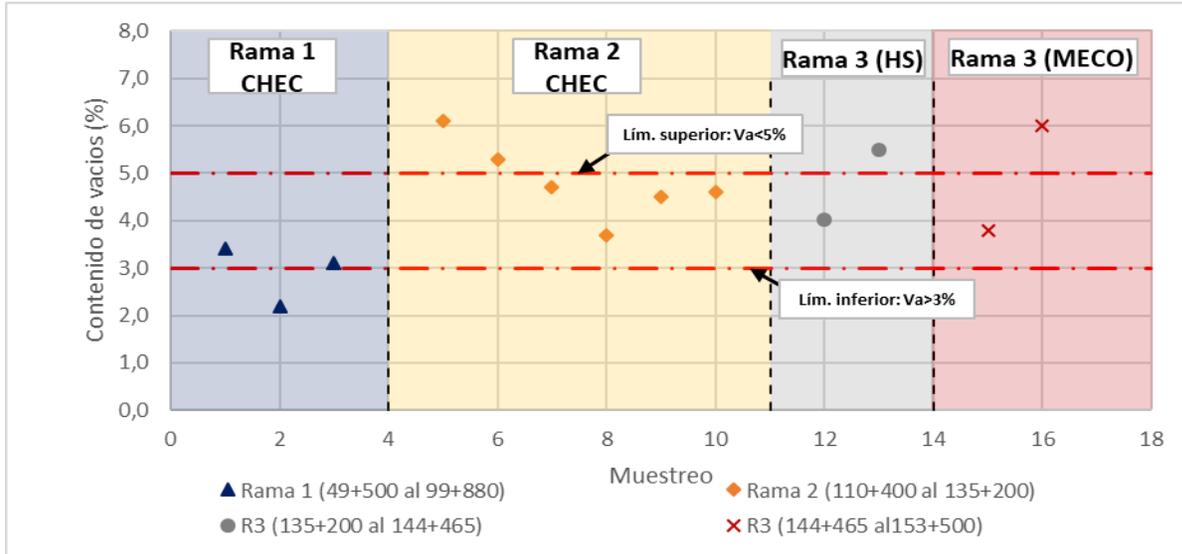
Figura 29. Resumen de resultados del contenido de vacíos para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 12,5 mm realizados por la Supervisión en las diferentes plantas de producción. Fuente: Informes de verificación, CACISA. Periodo: junio 2020 – junio 2022.



Por el contrario, los datos del LanammeUCR no reflejan una tendencia clara a encontrarse en el rango de variación permitido, asimismo, se destaca que estos resultados se complementan con los mencionados anteriormente, ya que, tomando como ejemplo los muestreos de Rama 1, los resultados de VFA expuestos en la Figura 28 reflejan que las mezclas presentan poco espacio entre partículas lo cual justifica la tendencia del contenido de vacíos a encontrarse cercano al límite inferior, tal y como se aprecia en la Figura 30, lo mismo sucede para los muestreos de CHEC Rama 2 donde los datos de VFA se agrupan hacia el lado seco de la especificación, justificando un mayor contenido de vacíos en esos muestreos.



Figura 30. Resumen de resultados del contenido de vacíos para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 12,5 mm realizados por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción. Periodo: junio 2020 – junio 2022.



9. Contenido de asfalto

Por su parte, el contenido de asfalto en las mezclas de 12,5 mm no presenta incumplimientos para los resultados obtenidos tanto por el LanammeUCR como por la Supervisión del proyecto, los resultados obtenidos se pueden apreciar en las Figuras 31 y 32.

Figura 31. Resumen de resultados del parámetro de contenido de asfalto para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 12,5 mm realizados por la Supervisión en las diferentes plantas de producción. Fuente: Informes de verificación, CACISA. Periodo: junio 2020 – junio 2022.

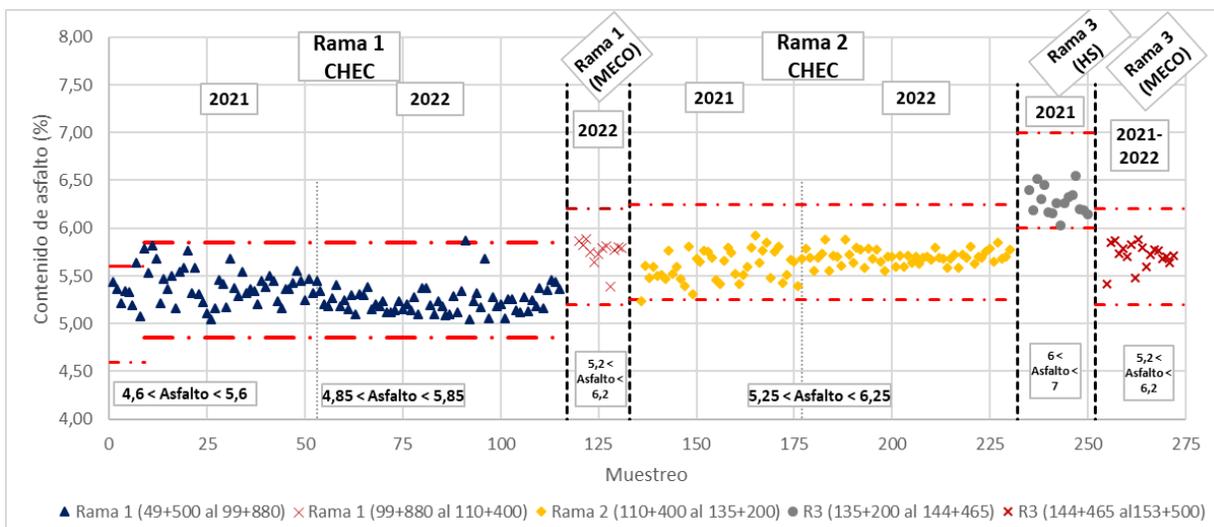
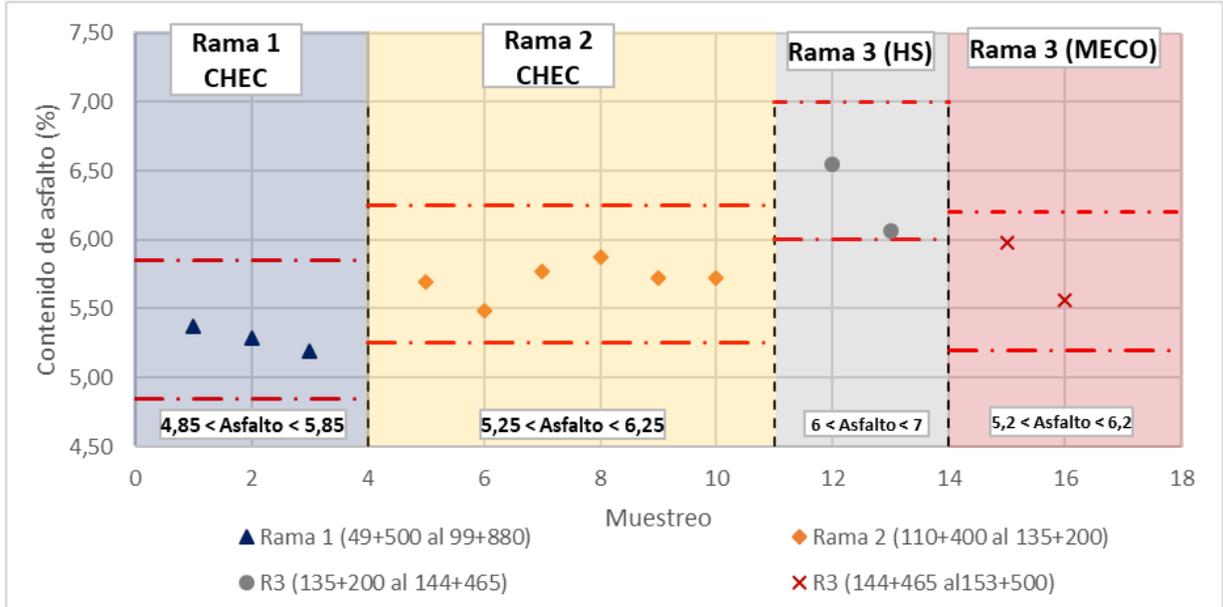




Figura 32. Resumen de resultados del parámetro de contenido de asfalto para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 12,5 mm realizados por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción. Periodo: junio 2020 – junio 2022.



10. Relación polvo/asfalto (P/A)

Finalmente, para la relación polvo/asfalto se destaca que a partir de los muestreos realizados por la Supervisión más del 95% de los datos se encuentra dentro de la especificación establecida contractualmente (entre 0,6 y 1,3), lo que corresponde únicamente a 9 de 256 muestras con inconsistencias en este parámetro. Por su parte, para las muestras del LanammeUCR se registraron 3 de 13 muestras por encima del 1,3 de la especificación lo que corresponde a un 23% de las muestras. Lo cual evidencia una tendencia, para las mezclas de 12,5 mm, al cumplimiento de la relación polvo/asfalto tanto a partir de los resultados del Lanamme como de la Supervisión. Se muestran los resultados obtenidos por la Supervisión y por el LanammeUCR en las siguientes figuras.



Figura 33. Resumen de resultados de la relación polvo/asfalto para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 12,5 mm realizados por la Supervisión en las diferentes plantas de producción. Fuente: Informes de verificación, CACISA. Periodo: junio 2020 – junio 2022.

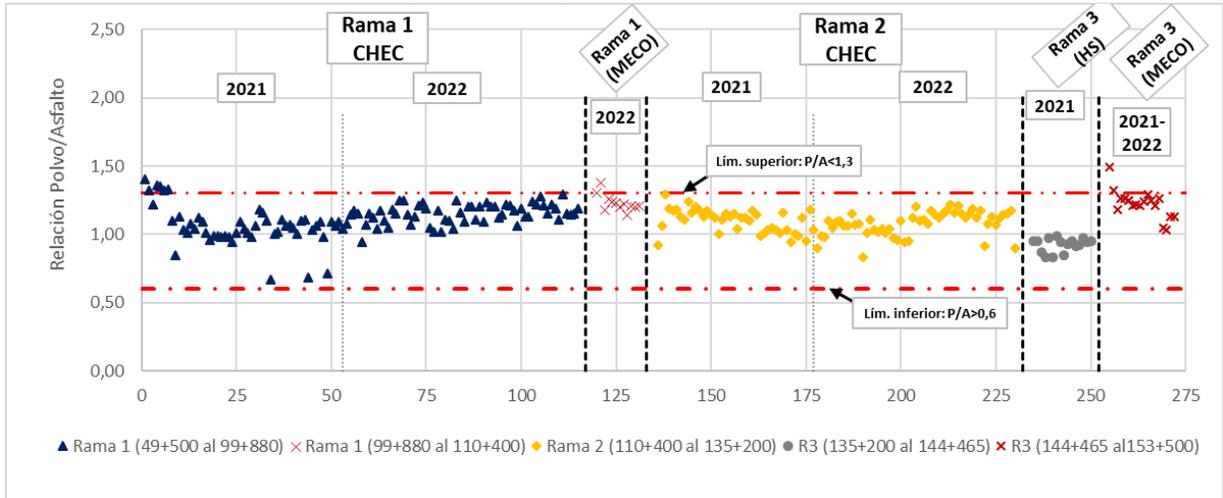
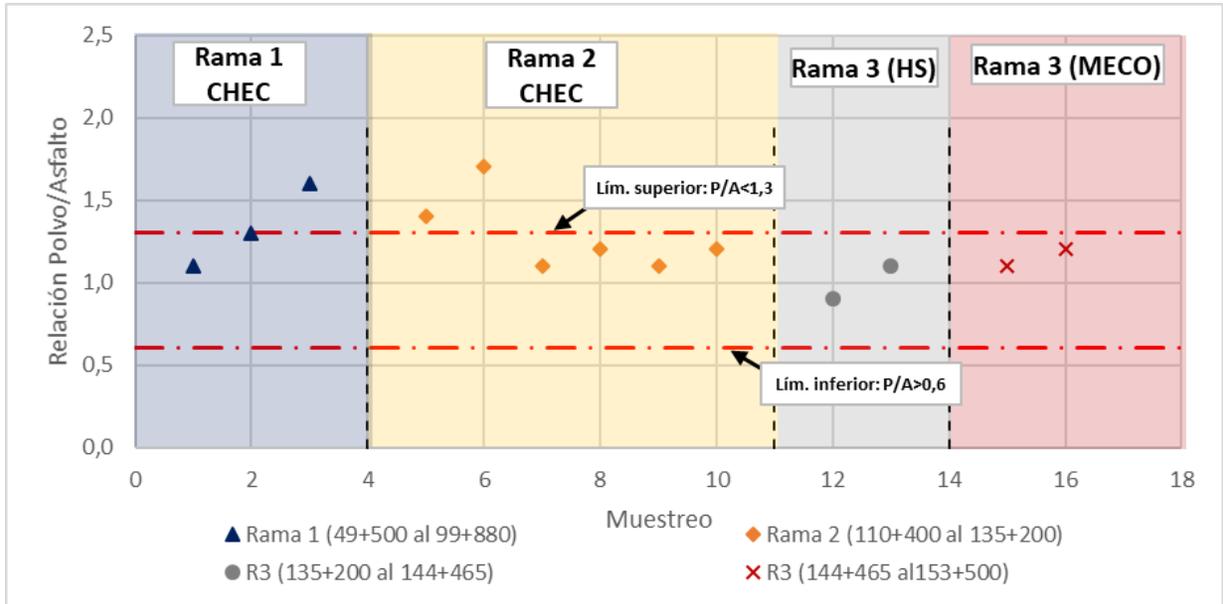


Figura 34. Resumen de resultados de la relación polvo/asfalto para los muestreos de mezcla asfáltica TMN 12,5 mm realizados por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción. Periodo: junio 2020 – junio 2022.





Sobre los resultados obtenidos

A manera de resumen, se presenta en la Tabla 15 el porcentaje de las muestras que presentan incumplimientos de los diferentes parámetros volumétricos evaluados anteriormente, esto a partir de los resultados de la Supervisión y del LanammeUCR, con la finalidad de evaluar cual ha sido el parámetro en el que se presentan mayor cantidad de incumplimientos y el tipo de mezcla en el que se registraron.

Tabla 15. Porcentaje de muestras que presentan incumplimientos de diferentes parámetros volumétricos.

Parámetro	Muestreos de Supervisión		Muestreos de LanammeUCR	
	TMN 12,5 mm	TMN 19,0 mm	TMN 12,5 mm	TMN 19,0 mm
VMA	2,3% (256)	1,6% (382)	30,8% (13)	13,6% (22)
VFA	8,6% (256)	8,9% (382)	53,8% (13)	45,0% (22)
Vacios de aire	0,0% (256)	2,4% (382)	3,8% (13)	31,8% (22)
Contenido de asfalto	0,0% (256)	4,3% (382)	0,0% (13)	22,0% (22)
Relación polvo/asfalto	3,5% (256)	2,6% (382)	2,3% (13)	27,0% (22)

() número de muestras que se consideraron en el análisis

Se destaca que, a partir de los datos obtenidos de los informes de verificación de la calidad de la Supervisión del proyecto, la mezcla asfáltica que presenta mayor cantidad de incumplimientos corresponde a la de TMN de 19,0 mm. Además, se evidenció que en ninguno de los parámetros los incumplimientos superan el 10 % de las muestras.

Por su parte, se destaca que los vacíos llenos de asfalto (VFA) corresponde al parámetro volumétrico en el que se identificaron más incumplimientos de acuerdo con los datos de la Supervisión, ya que para las mezclas de 12,5 mm y 19,0 mm se identificaron porcentajes de incumplimiento de 8,6 % y 8,9 % respectivamente, se destaca que estos datos se calcularon para la totalidad de los muestreos realizados por el gestor del proyecto.

De manera similar con los resultados de la Supervisión, en los resultados del LanammeUCR, también se identificó que la mezcla de 19,0 mm es la que presenta mayor cantidad de incumplimientos, y es en el parámetro VFA donde se presentaron mayor cantidad de incumplimientos.

Adicionalmente, se debe señalar que mediante el oficio UE-DRA-RN32-009-2022-2205 (179) con fecha del 16 de diciembre del 2022, la UE32 remitió al Equipo Auditor un listado de No Conformidades que se han realizado en el proyecto relacionados con la estructura de pavimento, donde se destacan aproximadamente 43 No Conformidades relacionadas directamente con el incumplimiento de alguno de los parámetros evaluados, no obstante, el Equipo Auditor desconoce si se han realizado acciones por parte del Contratista para el cierre de las no conformidades asociadas al incumplimiento de los parámetros de calidad de la MAC.

Finalmente, se debe comprender que los muestreos realizados por el LanammeUCR durante el proceso de fiscalización no pretenden cumplir con la función de Autocontrol de la Calidad que le corresponde al Contratista ni de Verificación de la Calidad que le corresponde a la



Supervisión, sino que los ensayos se realizan como un insumo para la Administración durante la ejecución del proyecto, razón por la cual, todos los resultados de calidad relacionados con la mezcla asfáltica se han remitido oportunamente mediante distintos oficios a la UE32 para su respectiva consideración y análisis.

HALLAZGO No. 5. SE IDENTIFICÓ QUE LA ESTRUCTURA GRANULOMÉTRICA DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS POR EL LANAMMEUCR Y POR LA SUPERVISIÓN PRESENTAN UNA TENDENCIA A ENCONTRARSE DENTRO DE LAS TOLERANCIAS PERMITIDAS POR EL CR-2010 PARA CADA TIPO DE MEZCLA.

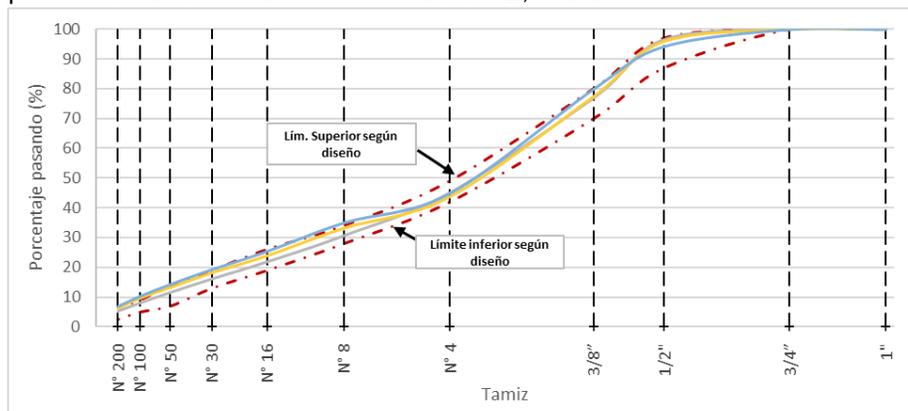
En primera instancia, se destaca que la evaluación de la estructura granulométrica permite garantizar que el comportamiento de la mezcla asfáltica corresponde al esperado según el diseño de mezcla que aplique. Además, se debe comprender que alteraciones en la granulometría constituyen cambios no solo en las propiedades volumétricas del material, sino que además pueden representar una afectación en la respuesta mecánica de la mezcla ante ciertos fenómenos, se puede incidir en la resistencia al corte del material al afectar el entramamiento de las partículas o incluso en la susceptibilidad ante el daño por humedad.

El presente análisis comprende los resultados granulométricos obtenidos por el LanammeUCR y por la Supervisión, a partir de los muestreos de mezcla asfáltica que se han desarrollado en el periodo de análisis entre enero 2020 y junio del 2022, esto tomando en consideración el rango de tolerancia permitido según la subsección 703.07 del CR-2010 para la estructura granulométrica óptima de acuerdo con los diferentes diseños de mezcla asfáltica que se utilizan en el proyecto. Adicionalmente, se debe señalar que estos resultados corresponden con la normativa ASTM D5444 “Granulometría del agregado extraído de la mezcla asfáltica”.

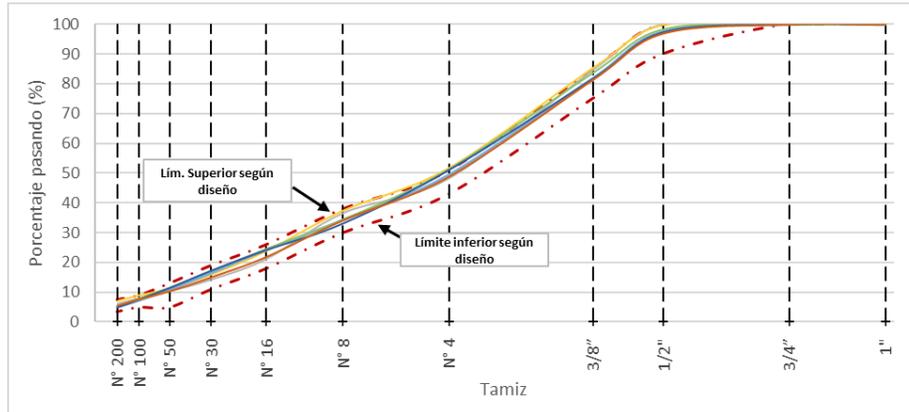
Sobre las mezclas asfálticas con TMN de 12,5 mm

Se detalla a continuación sobre los resultados obtenidos para la mezcla asfáltica con TMN de 12,5 mm de las diferentes plantas de producción.

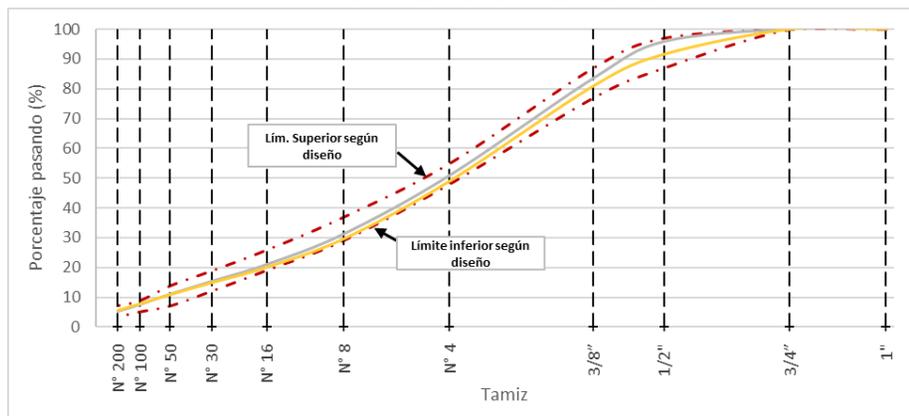
Figura 35. Resultados del análisis granulométrico realizado por el LanammeUCR para las diferentes plantas de producción de las muestras con TMN de 12,5 mm.



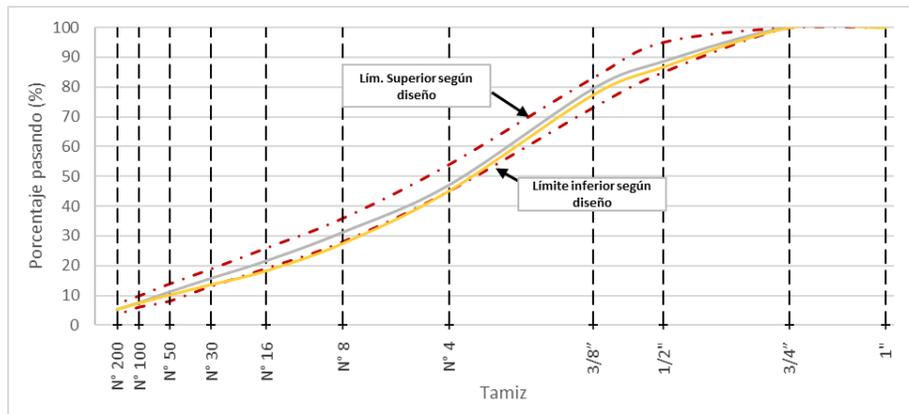
a. Plantel CHEC Rama 1



b. Plantel CHEC Rama 2



c. Plantel HSolís Río Frío



d. Plantel MECO La Marina

Para el caso de las muestras obtenidas por el LanammeUCR, en el plantel de CHEC Rama 1 (Figura 35a), se evidencia que en su mayoría los resultados se encuentran dentro de la tolerancia permitida, siendo que únicamente la muestra del 29/3/2022 registró para el tamiz No. 8 un comportamiento levemente más fino para ese tamiz tamaño de partícula. Por otro lado, los muestreos realizados en la planta de CHEC Barbilla y del Contratista HSolís (Figura 35b y Figura 35c) se encuentran dentro de los límites de tolerancia, donde se destaca que las muestras de HSolís tienden hacia el lado grueso de la especificación (límite inferior). Por su



parte, las muestras de la planta del Contratista MECO (Figura 35d) también presentan la tendencia hacia el lado grueso de la banda granulométrica.

En la Tabla 16 se muestran únicamente las muestras de la Supervisión con incumplimientos detectados. Se destaca que para el plantel de CHEC Rama 1 se identificaron 4 de 115 muestras que presentaron incumplimientos en al menos uno de los tamices de control, lo que equivale a aproximadamente un 3,5% de las muestras de ese plantel.

Adicionalmente, el sector de CHEC Rama 2 también presentó 5 muestras con incumplimientos en la estructura granulométrica, lo que representa un 5% de las mezclas evaluadas en ese sector, se destaca que los incumplimientos identificados en este sector corresponden en su mayoría a muestras con una tendencia hacia el lado fino de la estructura granulométrica, destacando que se puede apreciar un desfase en la granulometría casi en la totalidad de los tamices evaluados, lo cual supone un comportamiento distinto del material para esos días de producción, lo que puede representar mezclas más finas y con mayor susceptibilidad a la deformación permanente al contar con un esqueleto granulométrico menos robusto y con menor resistencia al corte.

Asimismo, se destaca que, para las muestras tomadas del plantel de producción de MECO, se identificaron únicamente 2 muestras con incumplimientos en su estructura granulométrica, se destaca que para la muestra tomada el 25/03/2022 se identificó el incumplimiento del tamiz de 3/8" al obtenerse un porcentaje pasando levemente superior al requerido de acuerdo con el diseño de mezcla, mientras que para la muestra del 22/05/2022 se presentaron incumplimientos en los tamices 1/2", 3/8" y No.4 obteniendo una granulometría más gruesa para ese tamaño de partícula. Por último, para el plantel de producción del subcontratista HSolís no se identificaron incumplimientos en la estructura granulométrica para las mezclas de 12,5 mm.

Tabla 16. Listado de muestras de TMN de 12,5 mm que presentan incumplimientos en su estructura granulométrica a partir de datos de la Supervisión.

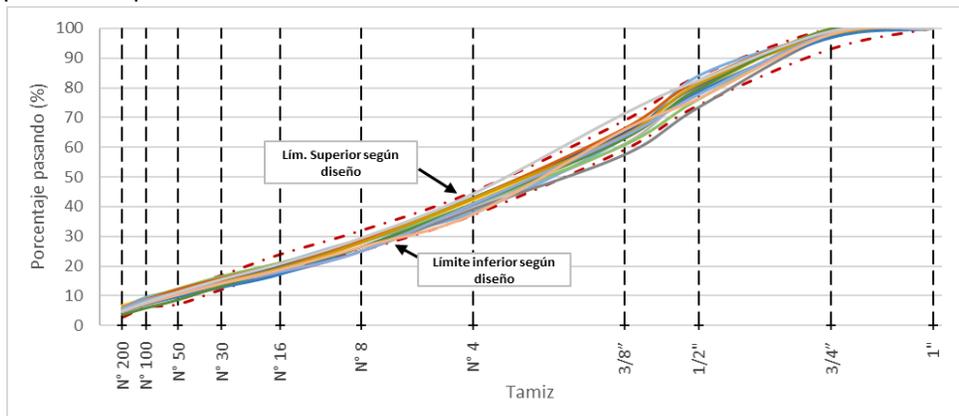
Plantel CHEC Rama 1			Granulometría										
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(N°4)	(N°8)	(N°16)	(N°30)	(N°50)	(N°100)	(N°200)
Lím. Superior			100	100	97	80	49	34	26	19	14	9	6,5
Lím. Inferior			100	100	87	70	42	28	19	13	7	5	2,5
CR-LAB-SI-2021-006	1221-2021	17/6/2021	100	100	94	71	43	27	20	15	11	8	5,2
CR-LAB-SI-2021-007	1239-2021	21/6/2021	100	100	95	74	44	27	19	14	10	8	5,2
CR-LAB-SI-2022-003	0835-2022	24/3/2022	100	99	83	68	41	28	20	15	10	7	4,9
CR-LAB-SI-2022-006	1765-2022	29/6/2022	100	100	98	82	45	31	22	16	12	8	5,5
Plantel CHEC Rama 2			Granulometría										
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(N°4)	(N°8)	(N°16)	(N°30)	(N°50)	(N°100)	(N°200)
Lím. Superior			100	100	100	85	51	38	26	19	13	9	7,5
Lím. Inferior			100	100	90	75	43	30	18	11	5	5	3,5
CR-LAB-SI-2021-010	2193-2021	18/10/2021	100	100	100	100	82	50	34	25	17	11	8
CR-LAB-SI-2021-010	2194-2021	19/10/2021	100	100	100	100	83	49	33	23	16	11	7
CR-LAB-SI-2021-010	2148-2021	24/10/2021	100	100	100	100	79	47	33	22	16	10	8
CR-LAB-SI-2021-010	2274-2021	25/10/2021	100	100	100	100	83	50	35	24	16	11	7
CR-LAB-SI-2021-010	2326-2021	29/10/2021	100	100	100	98	81	49	34	24	15	11	7
Plantel CHEC Rama 2			Granulometría										
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(N°4)	(N°8)	(N°16)	(N°30)	(N°50)	(N°100)	(N°200)
Lím. Superior			100	100	95	83	54	36	26	19	14	10	7,3
Lím. Inferior			100	100	85	73	45	28	19	13	8	6	3,3
CR-LAB-SI-2022-003	0846-2022	25/3/2022	100	100	93	84	54	35	24	18	13	10	6
CR-LAB-SI-2022-005	1383-2022	22/5/2022	100	100	79	65	43	28	20	14	10	8	5,5



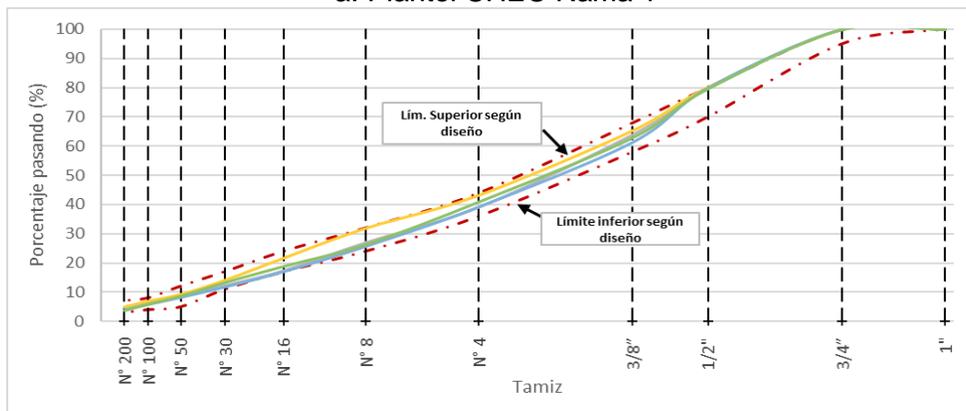
Sobre las mezclas asfálticas con TMN de 19,0 mm

Se muestran en la Figura 36 los resultados granulométricos obtenidos para las muestras de mezcla asfáltica con TMN de 19,0 mm tomadas en los diferentes planteles de producción.

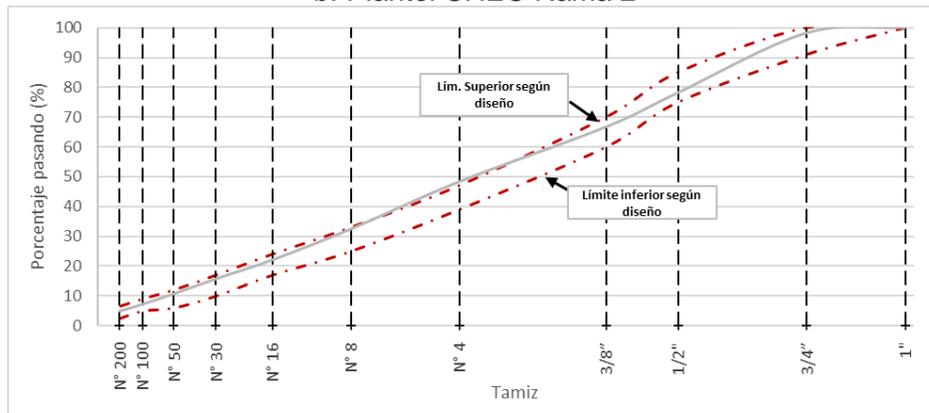
Figura 36. Resumen de resultados del análisis granulométrico realizado por el LanammeUCR para las diferentes plantas de producción de las muestras con TMN de 19,0 mm.



a. Platel CHEC Rama 1



b. Platel CHEC Rama 2



c. Platel HSolís Río Frío



CR-LAB-SI-2021-002	0242-2021	18/2/2021	100	100	87	68	42	27	18	12	9	7	5,5
CR-LAB-SI-2021-003	0385-2021	6/3/2021	100	100	86	67	42	28	19	12	9	7	4,7
CR-LAB-SI-2021-003	0550-2021	27/3/2021	100	100	84	65	43	31	21	15	11	8	5,6
CR-LAB-SI-2021-004	0582-2021	3/4/2021	100	100	82	64	46	32	21	15	11	7	4,8
CR-LAB-SI-2021-004	0583-2021	4/4/2021	100	100	83	64	43	31	21	15	11	7	4,8
CR-LAB-SI-2021-004	0709-2021	17/4/2021	100	100	83	64	43	31	21	14	10	7	5,1
CR-LAB-SI-2021-004	0710-2021	17/4/2021	100	100	82	64	42	31	20	14	10	7	5,3
CR-LAB-SI-2021-004	0728-2021	21/4/2021	100	100	82	63	43	31	21	15	11	8	5,3
CR-LAB-SI-2021-004	0739-2021	24/4/2021	100	100	84	64	43	30	20	14	9	6	4,1
CR-LAB-SI-2021-005	0896-2021	12/5/2021	100	100	71	63	38	27	17	12	10	7	4,3
CR-LAB-SI-2021-007	1305-2021	26/6/2021	100	100	100	79	48	35	24	15	11	7	5
CR-LAB-SI-2021-008	1540-2021	28/7/2021	100	100	100	79	46	34	23	15	10	7	4,9
CR-LAB-SI-2021-008	1541-2021	29/7/2021	100	100	100	83	48	35	24	16	11	8	5,2
CR-LAB-SI-2021-008	1702-2021	16/8/2021	100	100	99	77	46	33	24	15	11	8	5,1
CR-LAB-SI-2021-008	1704-2021	18/8/2021	100	100	98	81	48	32	22	14	11	8	5,4
CR-LAB-SI-2021-008	1747-2021	27/8/2021	100	100	73	60	39	26	19	13	9	6	5
CR-LAB-SI-2021-009	2033-2021	27/9/2021	100	100	99	81	47	34	24	17	11	8	5,3

Plantel HSolís Río Frío			Granulometría										
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(N°4)	(N°8)	(N°16)	(N°30)	(N°50)	(N°100)	(N°200)
Lim. Superior			100	100	85	70	47	33	24	17	12	9	6,5
Lim. Inferior			100	91	75	60	39	25	17	10	6	5	2,5
CR-LAB-SI-2020-007	1949-2020	29/8/2020	100	96	72	60	38	28	20	15	11	8	5,2
CR-LAB-SI-2020-007	1965-2020	31/8/2020	100	97	80	66	45	32	23	18	13	10	6,6
CR-LAB-SI-2020-010	2728-2020	11/12/2020	100	98	86	71	55	38	26	19	12	7	5,4

Plantel MECO La Marina			Granulometría										
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(N°4)	(N°8)	(N°16)	(N°30)	(N°50)	(N°100)	(N°200)
Lim. Superior			100	100	85	70	45	32	24	17	12	9	6,8
Lim. Inferior			100	95	76	60	37	24	16	11	7	5	2,8
CR-LAB-SI-2021-007	1280-2021 (PP)	25/6/2021	100	100	92	76	48	32	22	16	11	8	5,4
CR-LAB-SI-2021-009	1974-2021 (PP)	25/9/2021	100	100	86	70	44	29	20	15	10	7	4,7
CR-LAB-SI-2021-010	2239-2021 (PP)	23/10/2021	100	100	87	71	47	31	21	14	10	8	5,4
CR-LAB-SI-2022-001	0075-2022	10/1/2022	100	100	85	71	43	28	19	15	11	7	5
CR-LAB-SI-2022-001	0126-2022	13/1/2022	100	100	87	71	43	28	20	15	10	7	5,2
CR-LAB-SI-2022-001	0196-2022	21/1/2022	100	100	76	59	36	25	18	13	9	6	4,6
CR-LAB-SI-2022-001	0327-2022	1/2/2022	100	100	87	69	42	27	18	13	10	7	4,7
CR-LAB-SI-2022-001	0328-2022	2/2/2022	100	100	90	71	42	28	19	14	10	7	4,7
CR-LAB-SI-2022-001	0337-2022	4/2/2022	100	100	86	66	39	26	18	13	9	6	4,5
CR-LAB-SI-2022-001	0365-2022	8/2/2022	100	100	88	73	46	30	21	15	11	7	5
CR-LAB-SI-2022-001	0371-2022	9/2/2022	100	100	84	71	45	30	21	15	11	7	5
CR-LAB-SI-2022-001	0372-2022	9/2/2022	100	100	84	71	45	30	21	15	11	7	5,2
CR-LAB-SI-2022-001	0463-2022	18/2/2022	100	100	79	60	35	22	16	12	9	6	4,3
CR-LAB-SI-2022-006	1552-2022	5/6/2022	100	100	83	67	34	29	20	15	10	7	5,5

Con base en estos resultados, se identificó que las mezclas de TMN 19,0 mm tomadas por la Supervisión en el plantel de CHEC Rama 2 fueron las que presentaron una mayor cantidad de incumplimientos con 18 de 143 muestras, lo que equivale a aproximadamente un 12,5% de las mezclas evaluadas.

Por su parte, para el centro de producción de CHEC Rama 1 se detectaron 9 muestras con incumplimientos (6,6% del total de muestras), para el sector de MECO La Marina, se identificaron 14 muestras con inconsistencias, principalmente en los tamices de 12,5 mm, 9,5 mm y No.4. Adicionalmente, se destaca que para el plantel de producción de HSolís, se identificaron 3 muestras con incumplimientos del límite fino de la estructura granulométrica, no obstante, se debe resaltar que de acuerdo con los informes las muestras 1965-2020 y 1949-2020 corresponden a baches de prueba del diseño evaluado por lo que estas mezclas no necesariamente se colocaron en algún sector del proyecto.

A nivel general los resultados obtenidos presentan una tendencia a encontrarse dentro de las bandas granulométricas especificadas de acuerdo con cada diseño de mezcla, destacando que únicamente se encontraron incumplimientos en algunos tamices de la parte intermedia de la estructura granulométrica (bandas No. 16 a 1/2"), además, se destaca que el plantel donde se presentaron más incumplimientos corresponde al de CHEC Rama 2.



Estas alteraciones en la granulometría suelen ser provocadas por cambios en la fuente del material o modificaciones en el proceso de quebrado del material pétreo e incluso una homogenización incorrecta de los apilamientos que puede favorecer la segregación de las partículas, no obstante, es criterio del Equipo Auditor que es estos cambios deben ser monitoreados ya que pueden representar una modificación en el comportamiento de la mezcla asfáltica producida.

HALLAZGO No. 6. SE EVIDENCIÓ QUE LAS MUESTRAS TOMADAS POR EL LANAMMEUCR CUMPLEN CON LOS REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA LAS PRUEBAS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE DE RUEDA DE HAMBURGO Y APA.

En relación con la deformación permanente, se debe comprender que esta hace referencia a la acumulación de pequeñas deformaciones no recuperables en la mezcla asfáltica como consecuencia de la aplicación de las cargas vehiculares, estas deformaciones pueden ocasionar surcos o desplazamientos que provocan condiciones de irregularidad en la superficie que propicia la acumulación de agua que puede provocar el deslizamiento de los vehículos, por lo cual, el fenómeno de deformación permanente en la mezcla asfáltica no solo constituye una afectación del pavimento a nivel estructural, sino que además presenta un efecto en la seguridad de los usuarios de la vía.

Por lo cual, evaluar el comportamiento del material que se está utilizando para el proyecto ante este fenómeno constituye un aspecto de importancia en aras de garantizar el adecuado desempeño del proyecto durante su vida útil. Para la evaluación del desempeño de la mezcla asfáltica ante los deterioros por deformación permanente, se han especificado para el proyecto el uso de las pruebas *AASHTO T340 Susceptibilidad a la deformación permanente de mezcla asfáltica utilizando el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA)* y *AASHTO T324 Ensayo en el equipo de Rueda de Hamburgo para mezclas asfálticas compactadas*.

Es por esto, que, a solicitud del Equipo Auditor, el LanammeUCR realizó el muestreo y ejecución de estos ensayos, por lo que se realizaron 32 muestreos durante el periodo que comprende este análisis. Asimismo, se analizan los resultados de las muestras tomadas por la Supervisión para la evaluación de este fenómeno, los cuales se obtuvieron de los informes de verificación de la calidad que han sido remitidos al Equipo Auditor. Se detalla sobre los resultados a continuación.

Resultados obtenidos para el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA)

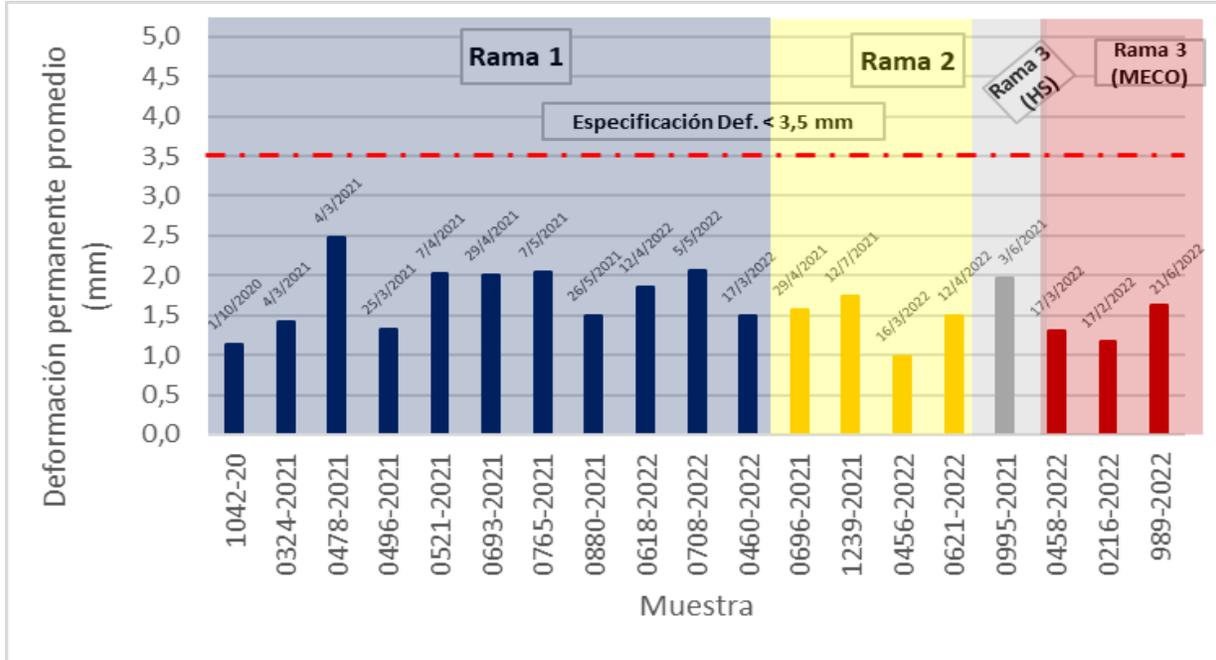
Una de las pruebas más utilizadas para medir el desempeño ante el fenómeno de deformación consiste en el ensayo de APA, en esta prueba se aplica una carga sobre un grupo de especímenes mediante una llanta metálica que se desplaza indirectamente sobre estos, se debe señalar que a partir del inicio del ensayo se registra la deformación sobre dos puntos de cada espécimen, por lo que se debe reportar el promedio de cada agrupación de ensayo, además, se destaca que la duración del ensayo consta de 8000 ciclos de carga.

En la Figura 37, se pueden apreciar los resultados obtenidos para las muestras mezcla asfáltica con TMN de 19,0 mm obtenidas por el LanammeUCR, se debe hacer hincapié en que la



especificación nacional hace una diferenciación del requisito de desempeño que se debe cumplir en función del tipo y uso que se le da a la mezcla asfáltica, donde se establece que mezclas utilizadas para capa intermedia deben satisfacer una deformación promedio menor a 3,5 mm para esta prueba.

Figura 37. Resumen de resultados del ensayo APA para las muestras MAC con TMN de 19,0 mm para las muestras tomadas por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción.



Se puede apreciar que, para las pruebas desarrolladas, ninguna de las muestras excede el nivel de deformación establecido contractualmente, asimismo, se aprecia que los resultados evidencian que en promedio la mezcla que presenta los valores de deformación más altos corresponde a la tomada en CHEC Rama 1 con una deformación máxima de 2,5 mm, sin embargo, este valor promedio satisface la especificación contractual.

Asimismo, se pueden observar los resultados obtenidos por la Supervisión para el ensayo de APA en mezclas con TMN de 19,0 mm en la Tabla 18, se destaca que, ninguna de las muestras evaluadas presentó un valor de deformación superior a la especificación establecida contractualmente, siendo que el valor de deformación más alto fue de 1,53 mm. Además, se destaca que, para la muestra 20/7105 no fue posible identificar en los informes de calidad el plantel de producción donde se tomó la muestra, ni la fecha del muestreo.



Tabla 18. Resultados de deformación permanente según el ensayo APA de las muestras obtenidas por la Supervisión en diferentes centros de producción

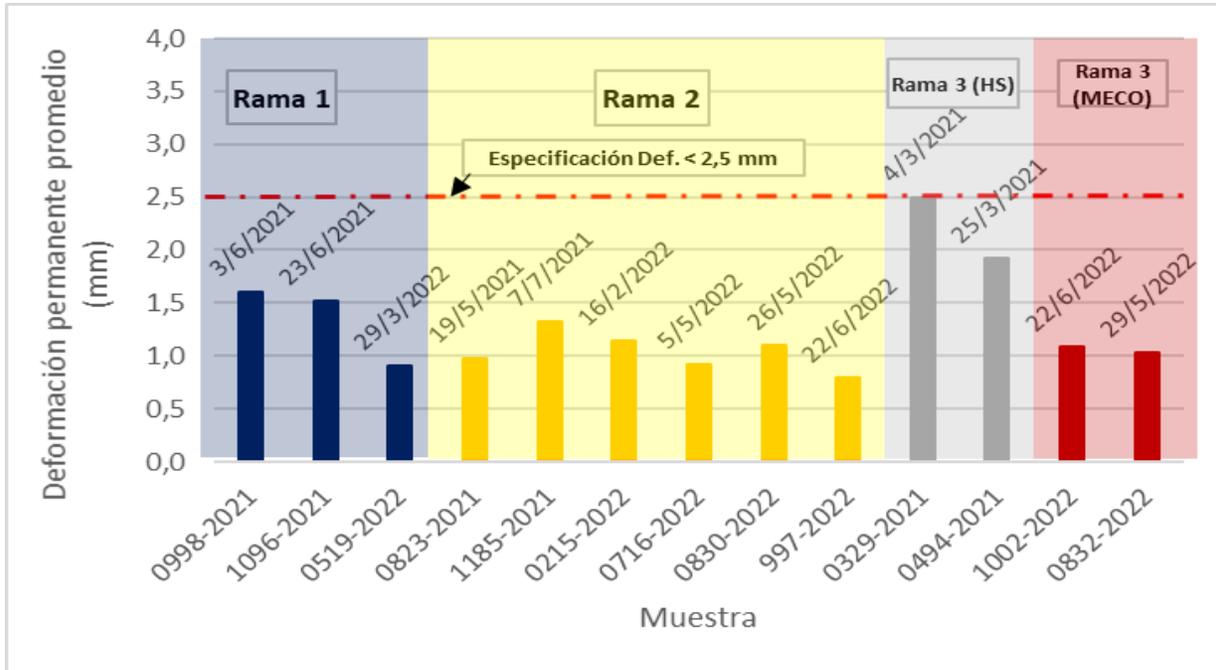
Número de Muestra	Informe	TMN	Plantel de producción	Deformación permanente en ensayo APA (mm)	Requisito de deformación según proyecto
20/7105	CR-LAB-SI-2020-004	19,0 mm	NI	0,957	
MA-001/21	CR-LAB-SI-2021-001	19,0 mm	CHEC Rama 1	1,221	
0470-21	CR-LAB-SI-2021-004	19,0 mm	CHEC Rama 2	0,587	Def. < 3,5 mm
1103-21	CR-LAB-SI-2022-005	19,0 mm	MECO La Marina	1,098	
1141-22	CR-LAB-SI-2022-005	19,0 mm	CHEC Rama 1	1,530	

Por otro lado, en la Figura 38 se presentan los resultados obtenidos para las muestras con TMN de 12,5 mm, en este caso al tratarse de mezclas asfálticas utilizadas como capa de rodadura, la especificación establece en el CR-2010 una deformación máxima de 2,5 mm, además, se debe mencionar que la especificación de proyecto únicamente establece la ejecución de la prueba de rueda de Hamburgo para este tipo de mezcla, sin embargo, con el objetivo de identificar alguna susceptibilidad de ese material al fenómeno de deformación y con fundamento normativo al estar especificado en el CR-2010, también se aplicaron las pruebas con el ensayo de APA a muestras de TMN de 12,5 mm.

Se puede apreciar que todos los resultados obtenidos evidencian un cumplimiento de este parámetro, siendo la muestra obtenida del plantel de HSolís el día 04/03/2021 la que presenta una deformación mayor con un valor de 2,5 mm.



Figura 38. Resumen de resultados del ensayo APA para las muestras MAC con TMN de 12,5 mm tomadas por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción.



Se destaca que las muestras del plantel de CHEC Rama 2 son las que presentan una deformación promedio menor, esto se puede explicar al analizar lo indicado en el análisis sobre la tendencia al cumplimiento de la estructura granulométrica de estas muestras lo cual puede provocar una resistencia al corte adecuada en la mezcla de este plantel (factor que influye en la resistencia a este fenómeno).

Finalmente, se destaca que en promedio las muestras de TMN 19,0 mm presentaron una mayor tendencia al ahuellamiento, con una deformación promedio de 1,6 mm para todas las muestras evaluadas, mientras que, para las mezclas con TMN 12,5 mm se obtuvo una deformación promedio de 1,3 mm para los diferentes muestreos realizados.

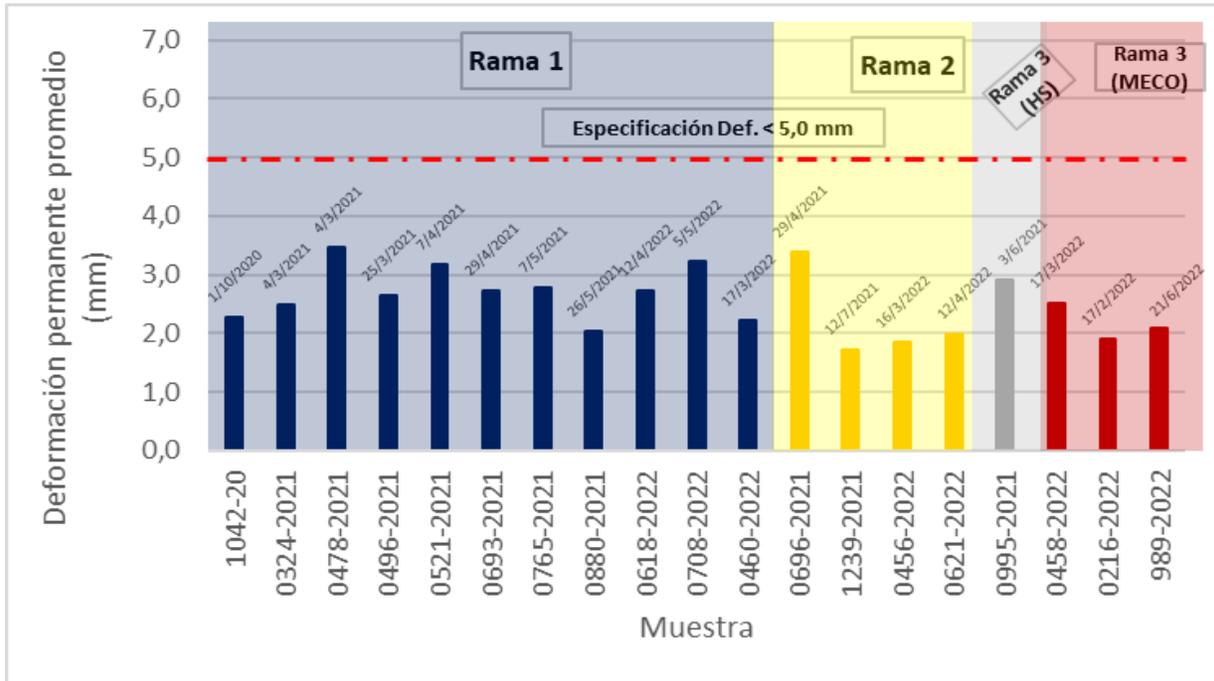
Resultados obtenidos para la prueba de Rueda de Hamburgo

Al igual que la prueba anterior, este ensayo permite evaluar la susceptibilidad de la mezcla al fenómeno de deformación permanente, en este caso, la carga se aplica directamente sobre los especímenes ensayados y se tiene una duración del ensayo de 20000 ciclos de carga, cabe destacar que, los especímenes son sumergidos en agua durante la aplicación de la carga, razón por la cual también se puede evaluar la resistencia al daño por humedad mediante esta prueba. Para este proyecto, la especificación establece un nivel de deformación máximo de 5,0 mm únicamente para las mezclas con TMN de 12,5 mm que se utilizan como capa de rodadura, no obstante, con el objetivo cuantificar el comportamiento de las mezclas de 19,0 mm en el presente análisis también se evalúa este requisito de deformación para este tipo de mezclas asfálticas, aunque no se establezca contractualmente para ese material.



En relación con los resultados obtenidos, se puede apreciar en la Figura 39 los datos de las pruebas para las mezclas con TMN de 19,0 mm.

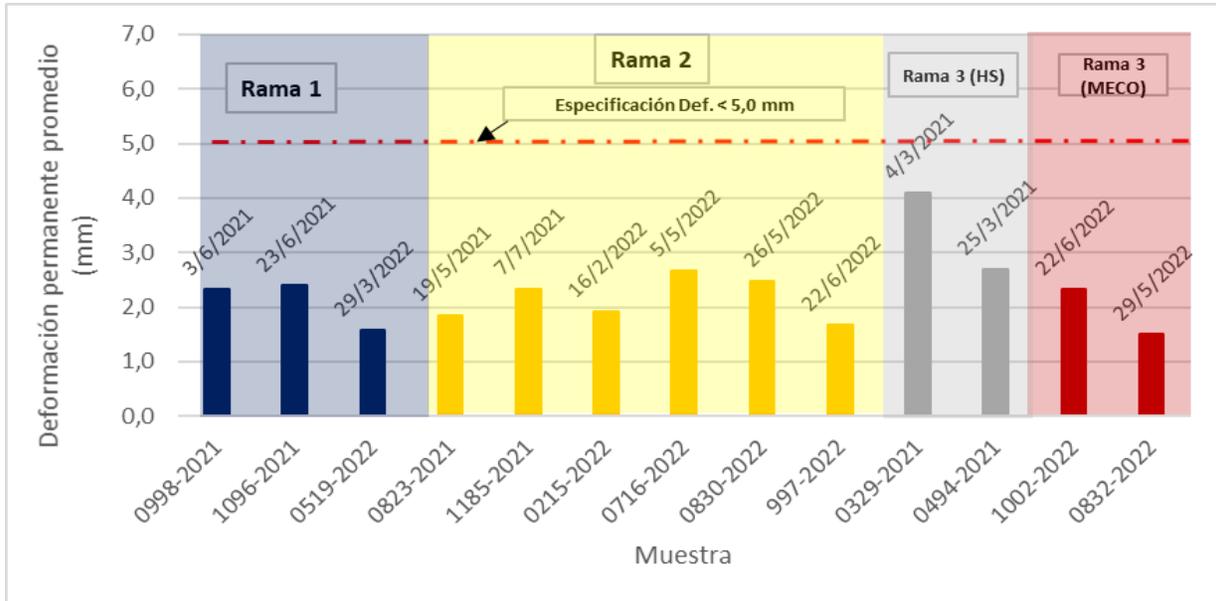
Figura 39. Resumen de resultados del ensayo Rueda de Hamburgo para las muestras MAC con TMN de 19,0 mm tomadas por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción.



De acuerdo con lo observado, se obtiene que para ninguna muestra se alcanza un nivel de deformación por encima de la especificación, se resalta que la deformación más alta corresponde a la muestra tomada el 04/03/2021 del plantel de CHEC Rama 1 misma que presentó el nivel de deformación más alto en la prueba de APA. Adicionalmente, se destaca que, de acuerdo con esta prueba, la mezcla que presenta mejores resultados corresponde a la tomada del plantel de CHEC Rama 2 con una deformación promedio de 1,9 mm. Asimismo, ninguna de las muestras evaluadas presentó una tendencia al daño por humedad, al no presentar punto de desnudamiento durante la ejecución de las pruebas.

Por su parte, se muestran los resultados de las mezclas de 12,5 mm en la Figura 40. Al respecto, se debe señalar que ninguna de las muestras excede el valor de deformación máximo permitido, además, al igual que para la prueba de APA la muestra tomada en el plantel de HSolís el día 04/03/2021, es la que presenta un nivel de deformación mayor con un resultado de 4,1 mm, si bien este resultado se encuentra por debajo del límite establecido, esto evidencia una mayor susceptibilidad a la deformación para esa muestra, en comparación con los otros resultados.

Figura 40. Resumen de resultados del ensayo Rueda de Hamburgo para las muestras MAC con TMN de 12,5 mm tomadas por el LanammeUCR en las diferentes plantas de producción.



De igual manera, se muestran los resultados obtenidos por la Supervisión en la Tabla 19, se destaca que a partir de los resultados que se incluyen en los informes de verificación de calidad, únicamente fue posible identificar dos muestras con resultados del ensayo de Rueda de Hamburgo, las cuales corresponden a muestreos realizados en los centros de producción de Rama 1 y Rama 2, además, se debe destacar que ninguna de las mezclas evaluadas presenta incumplimientos en la deformación promedio alcanzada.

Tabla 19. Resultados de deformación permanente según el ensayo de Rueda de Hamburgo de las muestras obtenidas por la Supervisión en diferentes centros de producción

Número de Muestra	Informe	TMN	Plantel de producción	Deformación permanente en ensayo de Rueda de Hamburgo (mm)	Requisito de deformación según proyecto
1180-21	CR-LAB-SI-2022-004	12,5 mm	CHEC Rama 2	3,068	Def. < 5,0 mm
1592-21	CR-LAB-SI-2022-004	12,5 mm	CHEC Rama 1	1,967	

Finalmente, se destaca que de forma general las muestras de 19,0 mm presentaron una mayor tendencia al ahuellamiento de acuerdo con la prueba de Rueda de Hamburgo, con una deformación promedio de 2,5 mm para todas las muestras evaluadas, mientras que, para las mezclas con TMN 12,5 mm se obtuvo una deformación promedio de 2,3 mm para los muestreos realizados. Esto es indicativo de que las mezclas evaluadas de 12,5 mm presentan una estructura granulométrica bien graduada que favorece el entramamiento de los agregados y mejora la resistencia al corte que presenta la mezcla asfáltica.



HALLAZGO No. 7. SE EVIDENCIÓ QUE EXISTEN MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON TMN DE 12,5 MM Y 19,0 MM TOMADAS POR EL LANAMMEUCR QUE NO SATISFACEN LOS REQUERIMIENTOS DE FATIGA DEL PROYECTO.

Otro fenómeno de deterioro que se debe contemplar en las evaluaciones de desempeño de la mezcla asfáltica es el agrietamiento por fatiga, este constituye un daño o deterioro sobre la carpeta asfáltica caracterizado por la aparición progresiva de grietas que se van interconectando, como consecuencia de la acción repetitiva de las cargas del tránsito al circular sobre el pavimento, las cuales favorecen el desprendimiento de zonas de la mezcla, la intrusión de agua a las capas inferiores y la formación de baches abiertos.

A nivel nacional, el ensayo especificado corresponde al AASHTO T321: Método estándar para determinar la vida a fatiga de especímenes sometidos a flexión repetida, el cual se ejecuta bajo la modalidad de nivel de deformación controlada a 400 E-6 mm/mm y 600 E-6 mm/mm, se destaca además que la especificación incluida en el CR-2010 y contemplada para el proyecto de acuerdo con la Orden de Modificación No. 1 del 30 de octubre del 2018 establece lo siguiente:

Tabla 20. Requisitos de desempeño para la prueba de flexo tracción según el tipo de mezcla. Adaptado del CR-2010.

Parámetro	Mezclas tipo A	Mezclas tipo B	Mezclas tipo C*	Mezclas tipo D*	Método de ensayo
Repeticiones por fatiga a 20 °C para un nivel de deformación unitaria controlada de:					AASHTO T321
400 E-6 mm/mm	-	-	≥ 450 000	≥ 300 000	
600 E-6 mm/mm	-	-	≥ 50 000	≥ 25 000	

* Mezclas de alto desempeño, Tipo C: para capas intermedias, Tipo D: para capas de rodadura

Durante el lapso comprendido, a solicitud del Equipo Auditor el LanammeUCR realizó la toma y ejecución de esta prueba para 32 muestras. Se presentan a continuación los resultados obtenidos para las muestras con TMN de 12,5 mm para ambos niveles de deformación. Además, se debe resaltar que estos resultados han sido remitidos a la UE32 de manera oportuna mediante diferentes oficios durante el plazo de fiscalización entre los meses de enero 2020 y junio 2022.



Figura 41. Resumen de resultados del ensayo de flexo tracción a un nivel de deformación de 400 E-6 mm/mm para las muestras MAC con TMN de 12,5 mm tomadas por el LanammeUCR de las diferentes plantas de producción.

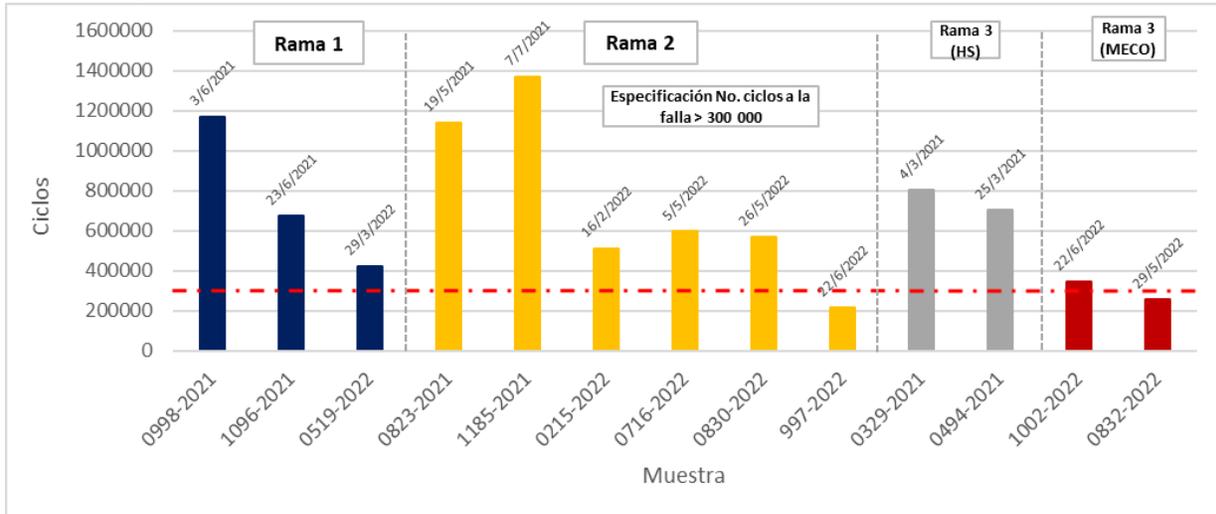
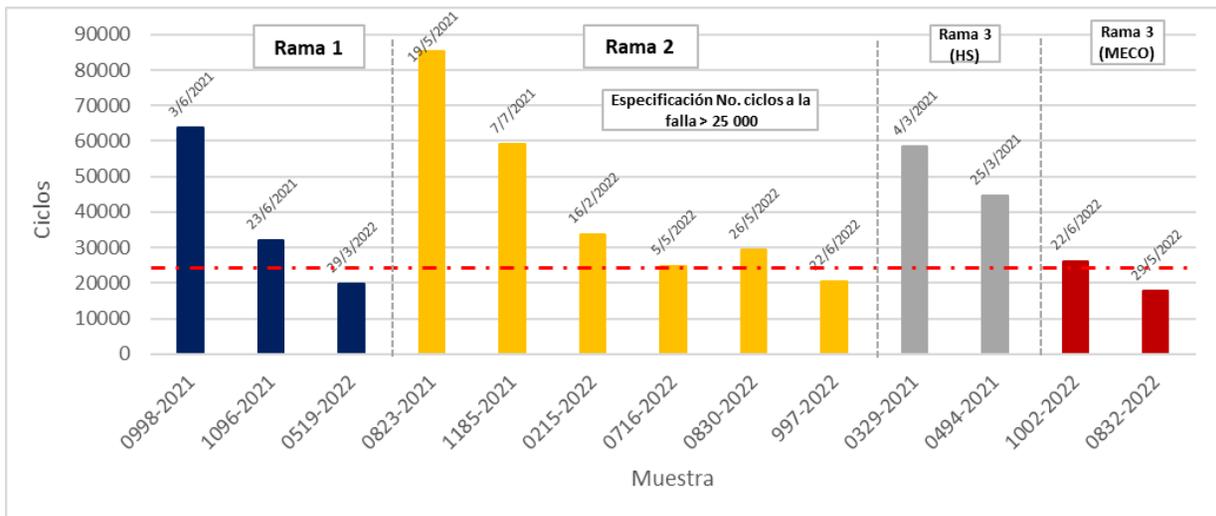


Figura 42. Resumen de resultados del ensayo de flexo tracción a un nivel de deformación de 600 E-6 mm/mm para las muestras MAC con TMN de 12,5 mm tomadas por el LanammeUCR de las diferentes plantas de producción.



Sobre estos resultados, se evidencia que para el nivel de 400 E-6 mm/mm se registraron dos muestras que presentan una cantidad de ciclos a la falla inferior al mínimo establecido, correspondientes a los muestreos realizados el 22/6/2022 en Rama 2 y el 29/5/2021 en el plantel del Contratista MECO. Se destaca, además, que para la muestra del plantel de CHEC Rama 2 no se había evidenciado el incumplimiento de los parámetros volumétricos evaluados anteriormente, sin embargo, para el parámetro VFA se obtuvo un resultado cercano al límite inferior, lo cual evidencia que la muestra presentó una cantidad de asfalto inferior a la requerida por la granulometría, lo cual pudo incidir en este resultado.



Por su parte, se destaca que para el nivel de deformación de 600 E-6 mm/mm se presentaron incumplimientos en los muestreos realizados el 22/6/2022 en Rama 2 y 29/5/2021 en la planta de MECO (muestras que también registraron incumplimientos para la prueba a 400 E-6 mm/mm), asimismo, en la muestra tomada el 29/3/2022 en la planta de CHEC Rama 1 se registró una cantidad de ciclos a la falla inferior al mínimo establecido contractualmente, además, se debe señalar que para esta última se identificaron inconsistencias en los parámetros de VFA y VMA.

De acuerdo con la metodología de evaluación de esta prueba, para registrar el cumplimiento de una muestra de MAC, se debe satisfacer la especificación en ambos niveles de deformación, de manera que, para las mezclas de 12,5 mm se obtuvieron 3 de 13 muestras que no cumplen con los requisitos de desempeño a fatiga, lo que representa un 23% de incumplimiento.

Por su parte, para las mezclas con TMN de 12,5 mm, se muestran en las figuras a continuación los resultados obtenidos por la Supervisión para ambos niveles de deformación de la prueba.

Figura 43. Resumen de resultados del ensayo de flexo tracción a un nivel de deformación de 400 E-6 mm/mm para las muestras MAC con TMN de 12,5 mm tomadas por la Supervisión de las diferentes plantas de producción.

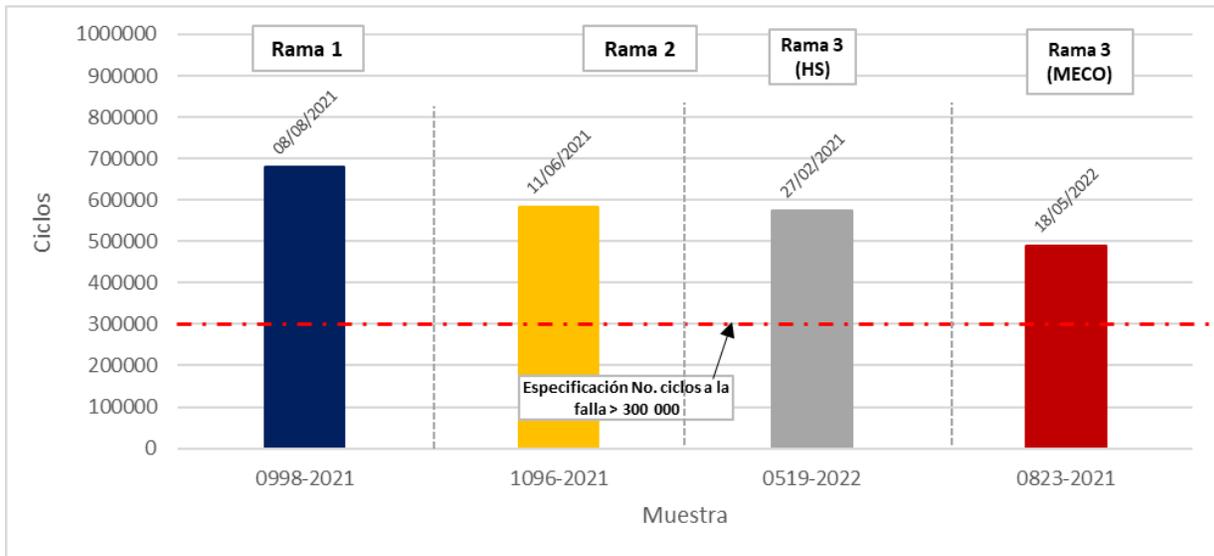
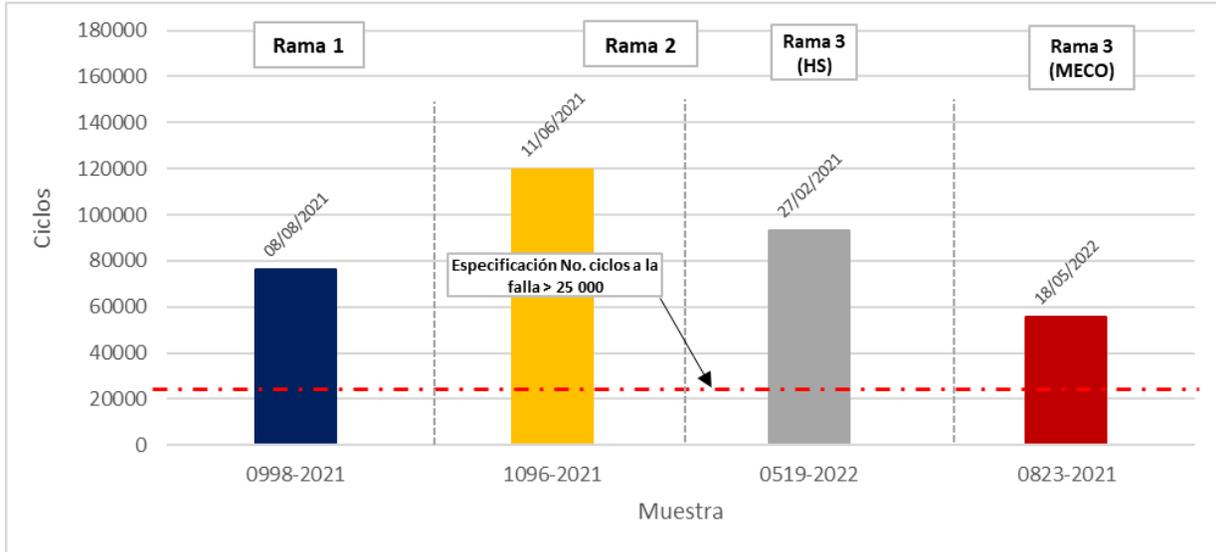




Figura 44. Resumen de resultados del ensayo de flexo tracción a un nivel de deformación de 600 E-6 mm/mm para las muestras MAC con TMN de 12,5 mm tomadas por la Supervisión de las diferentes plantas de producción.



A partir de los resultados de la Supervisión, no se identificó ninguna muestra que presentara una cantidad de repeticiones a la falla, inferior a los mínimos establecidos contractualmente para ambas deformaciones. Además, se determinó que el promedio de ciclos para el nivel de deformación de 600 E-6 mm/mm corresponde a aproximadamente 86000 repeticiones, valor que supera el requisito mínimo de 25000 repeticiones en más de 60000 ciclos. Lo cual plantea un comportamiento distinto al evidenciado en los resultados del LanammeUCR, donde las muestras presentaron un promedio de ciclos a la falla de 39630 de forma general.

Asimismo, se destaca que, a partir de los informes de resultados de fatiga remitidos al Equipo Auditor por parte del Gestor del Proyecto mediante el oficio CSRN32-1229-2022 del 4 de octubre del 2022, únicamente se identificaron cuatro muestras que presentan resultados del ensayo de fatiga, lo cual genera incertidumbre sobre la evaluación que ha realizado la Supervisión de la susceptibilidad de la mezcla al fenómeno de fatiga durante la ejecución del proyecto.

Por otro lado, en la Figura 45 y Figura 46 se presentan los resultados obtenidos por el LanammeUCR para las muestras con TMN de 19,0 en el periodo de fiscalización que abarca este informe. Se destaca que para este tipo de mezclas asfálticas el Equipo Auditor realizó 19 muestreos distribuidos entre los diferentes centros de producción. Además, se destaca que estos resultados se han remitido oportunamente como un insumo para que la Administración analice los resultados obtenidos.



Figura 45. Resumen de resultados del ensayo de flexo tracción a un nivel de deformación de 400 E-6 mm/mm para las muestras MAC con TMN de 19,0 mm tomadas por el LanammeUCR de las diferentes plantas de producción.

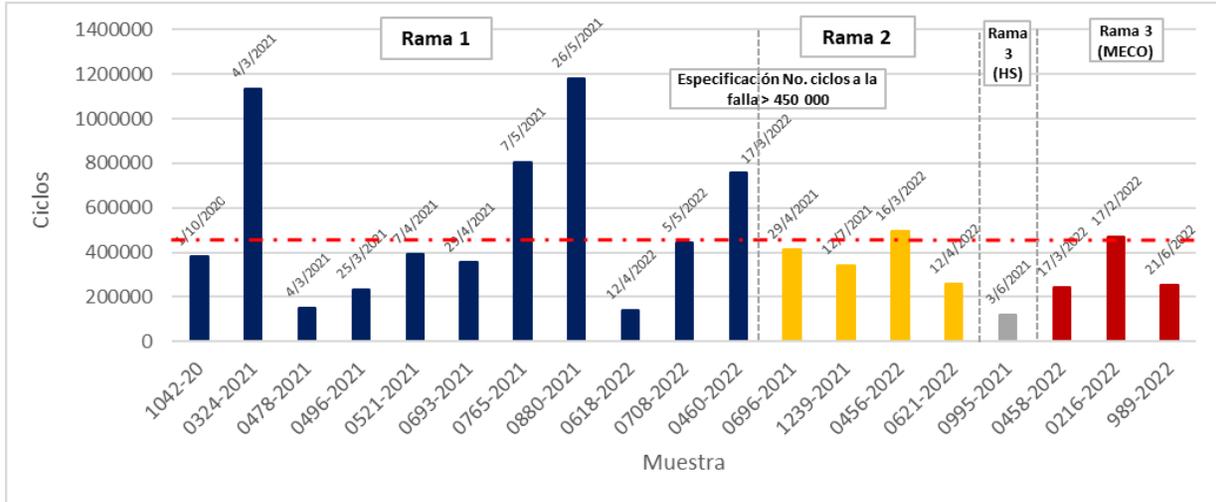
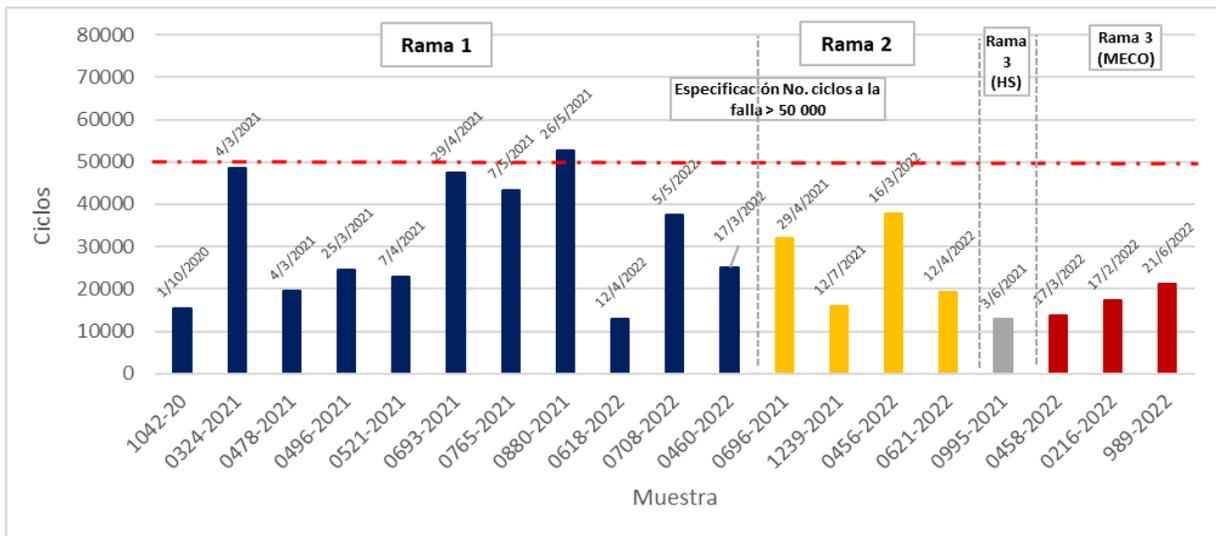


Figura 46. Resumen de resultados del ensayo de flexo tracción a un nivel de deformación de 600 E-6 mm/mm para las muestras MAC con TMN de 19,0 mm tomadas por el LanammeUCR de las diferentes plantas de producción.



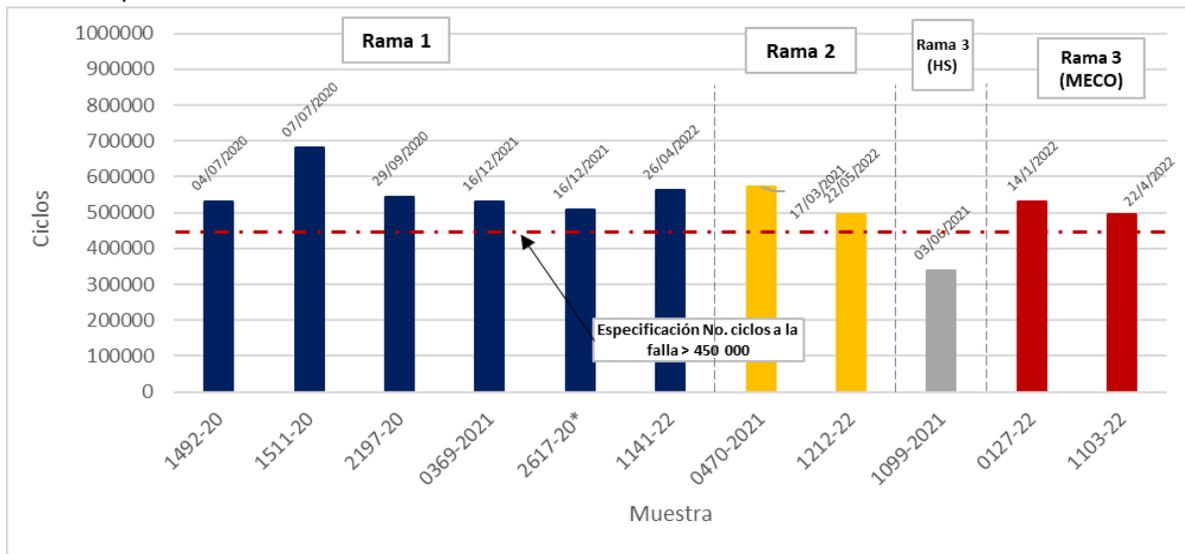
En este caso, para el nivel de deformación de 400 E-6 mm/mm se registró un 68% de las muestras que no cumplen con el requisito establecido, mientras que para el nivel de deformación de 600 E-6 mm/mm el porcentaje de incumplimiento corresponde al 94% de las muestras ensayadas, lo cual corresponde a únicamente una muestra que satisface la especificación de fatiga para las mezclas utilizadas como capa intermedia.

Por su parte, se muestran en las Figuras 47 y 48 los resultados de fatiga para ambos niveles de deformación de las muestras de 19,0 mm obtenidas por la Supervisión. Sobre estos resultados se debe mencionar que únicamente se identificó una muestra que presenta



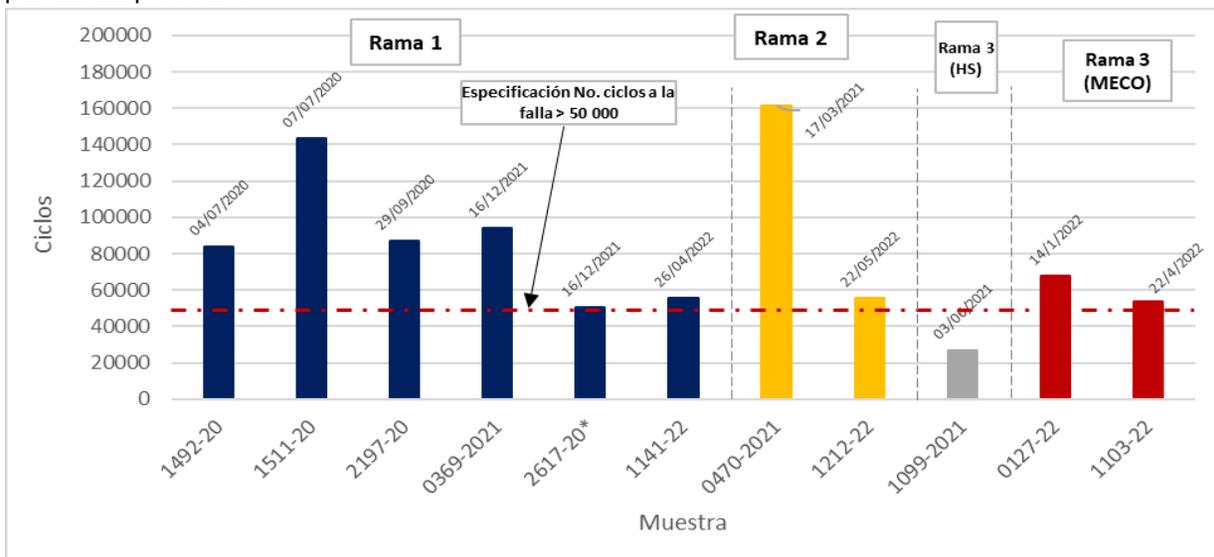
incumplimientos en la prueba, la muestra tomada por la Supervisión en el plantel del subcontratista HSolís el día 03 de junio del 2021 no satisface el requisito establecido para ninguno de los niveles de deformación con los que se ejecuta el ensayo. Lo cual evidencia que existe un comportamiento distinto entre lo evaluado por la Supervisión y lo evaluado por el LanammeUCR para las mezclas de 19 mm, donde se identifican una mayor cantidad de incumplimientos en los muestreos realizados por el LanammeUCR.

Figura 47. Resumen de resultados del ensayo de flexo tracción a un nivel de deformación de 400 E-6 mm/mm para las muestras MAC con TMN de 19,0 mm tomadas por la Supervisión de las diferentes plantas de producción.



*No existe claridad en la fecha de obtención de la muestra 2617-20

Figura 48. Resumen de resultados del ensayo de flexo tracción a un nivel de deformación de 600 E-6 mm/mm para las muestras MAC con TMN de 19,0 mm tomadas por la Supervisión de las diferentes plantas de producción.





Asimismo, se destaca que, con base en la información suministrada por la UE32 mediante el oficio UE-DRA-RN32-009-2022-2205 (179) con fecha del 16 de diciembre del 2022, se identificó que existe una No Conformidad relacionada con el ensayo de fatiga precisamente por el incumplimiento para la muestra 1099-2021 del plantel de HSolís. Adicionalmente, se destaca que en la información suministrada por el Gestor del Proyecto en el documento CSRN32-1229-2022 se establece que la muestra 2617-20 fue tomada el 16 de diciembre del 2021 al igual que la muestra 0369-2021, no obstante, al revisar los informes de resultados no hay claridad sobre la fecha de muestreo de estos materiales.

A nivel general, los resultados reflejan una mayor susceptibilidad de las mezclas asfálticas con TMN de 19,0 mm al fenómeno de agrietamiento por fatiga respecto a las mezclas con TMN de 12,5 mm, sobre lo cual, se debe mencionar que tal y como se aprecia en la Tabla 20, el límite de especificación que aplica en este proyecto para las mezclas de TMN de 19,0 mm es más exigente, esto debido a que esa mezcla se coloca como capa intermedia en la estructura de la carpeta asfáltica, por lo cual está sometida a esfuerzos de tensión que podrían provocar la formación de agrietamientos por este fenómeno.

Adicionalmente, se debe comprender que, en términos de contenido de asfalto, las mezclas de 12,5 mm requieren un contenido de asfalto mayor, lo cual puede explicar la tendencia observada, en especial al considerar que la ley general de fatiga en mezclas asfálticas establece que entre mayor sea el contenido de asfalto en la mezcla se espera un comportamiento más flexible y consecuentemente una mayor resistencia a este fenómeno.

No obstante, se debe comprender que la mezcla asfáltica corresponde a un material heterogéneo en el cual existen interacciones fisicoquímicas entre los elementos que la componen, por lo cual, es necesario analizar este fenómeno desde los diferentes aspectos que pueden incidir en el resultado, como la rigidez del ligante modificado, las propiedades volumétricas de la mezcla, la estructura granulométrica de la muestra o las características del agregado (gbs, forma y absorción). Debido a esto, el Equipo Auditor considera que la evaluación de este fenómeno es un aspecto fundamental en la ejecución del proyecto que se encuentra contemplado dentro de las especificaciones contractuales y que permite esbozar una idea del comportamiento de material ante fenómenos de deterioro como el agrietamiento por fatiga y determinar la calidad del material que se está suministrando al proyecto.

Sobre este particular se debe destacar que actualmente existen dos criterios de falla definidos para este ensayo, el primero en el que se registra la falla cuando se alcanza un 50% de la rigidez inicial y el segundo que comprende el punto máximo de las curvas de rigidez normalizada. Por lo cual, se debe señalar que el criterio de falla utilizado por el LanammeUCR para la evaluación del parámetro de fatiga es el del 50% de la rigidez inicial el cual está establecido en la norma AASHTO T-321-07(2011). Por su parte, mediante oficio UE-DRA-RN32-002-2022-0312 remitido el 21 de febrero del 2022, la Unidad Ejecutora indicó que los ensayos realizados en el proyecto utilizan el criterio de rigidez normalizada (el cual corresponde al criterio actualizado ya que se encuentra en la versión AASHTO T-321-17).

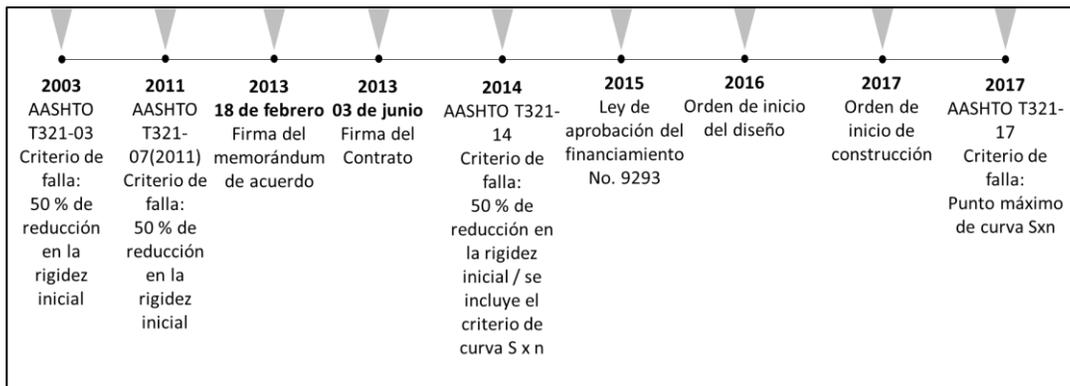


Sin embargo, tal y como se señala en el apartado 4.23 Códigos y normas del contrato con la empresa CHEC que indica:

“Cuando en el contrato se haga referencia a códigos y normas técnicas conforme a los cuales deba ejecutar el contrato se aplicará, a menos que se especifique otra cosa, la edición o versión revisada de esos códigos y normas que esté vigente en la fecha de firma del Contrato”

Así las cosas, tal y como se aprecia en la Figura 49, la versión vigente para la fecha de firma del contrato que rige el proyecto corresponde a la que considera el criterio del 50% de la rigidez inicial, lo cual puede explicar las diferencias de resultados entre el LanammeUCR y la Supervisión.

Figura 49. Línea de tiempo para las versiones de la norma AASHTO T321.



En virtud de lo anterior, el Equipo Auditor considera que el criterio de falla asociado al 50% de la rigidez inicial es el que debe utilizarse para la ejecución de los ensayos de fatiga en el proyecto de rehabilitación y ampliación de la ruta nacional 32.

SOBRE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD EN EL PROYECTO

HALLAZGO No. 8. SE DETERMINÓ QUE EXISTEN INCUMPLIMIENTOS EN LA FRECUENCIA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS REALIZADOS POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN RELACIONADOS CON EL LIGANTE ASFÁLTICO Y EL DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA SEGÚN EL PLAN DE VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD APROBADO.

Este análisis se fundamenta en la revisión documental que ha realizado el Equipo Auditor en relación con la ejecución de los ensayos de punto de ablandamiento, recuperación elástica, y clasificación por grado de desempeño para el ligante asfáltico, así como las pruebas de desempeño ante la deformación permanente como APA y rueda de Hamburgo y los ensayos de fatiga mediante la prueba de flexotracción AASHTO T321 durante la ejecución del proyecto.

A partir de los informes de verificación de la calidad que han sido remitidos al Equipo Auditor durante el lapso que comprende este informe, fue posible identificar los meses de producción de mezcla asfáltica para los diferentes sectores del proyecto. Además, mediante el oficio UE-DRA-RN32-009-2022-2205(179) del 16 de diciembre del 2022, la Unidad Ejecutora remitió el



plan de muestreos y ensayos de la Supervisión del proyecto, a partir del cual se establecen las frecuencias de ensayo que debe cumplir el Gestor del proyecto. Se puede observar en la Tabla 21 un resumen de la frecuencia establecida para los ensayos considerados en este informe

Tabla 21. Frecuencia de muestreo para la Supervisión para ensayos de desempeño en la mezcla asfáltica y de punto de ablandamiento, recuperación elástica y PG para el ligante asfáltico. Adaptado del “Plan de muestreos y ensayos de la Supervisión”

Material	Ensayo	Norma o procedimiento	Frecuencia
Mezcla asfáltica en caliente para capa intermedia TMN 19,0 mm	Ensayo de fatiga en vigas	AASHTO T-321	1 cada dos meses de producción
Mezcla asfáltica en caliente para capa de rodadura TMN 12,5 mm			
Mezcla asfáltica en caliente para capa intermedia TMN 19,0 mm	APA	AASHTO T-340	1 por diseño
Mezcla asfáltica en caliente para capa de rodadura TMN 12,5 mm	Rueda de Hamburgo	AASHTO T-324	1 cada dos meses de producción
	Punto de ablandamiento	ASTM D36	1 cada dos meses de producción
Ligante asfáltico modificado	Recuperación elástica	ASTMD6084	1 cada dos meses de producción
	Clasificación por grado de desempeño	AASHTO M-320	1 cada dos meses de producción

Sobre los ensayos de fatiga AASHTO-T321

Sobre la ejecución de este ensayo, se debe mencionar que, se establece la ejecución de esta prueba mediante el documento de alcance del proyecto, en el cual se destaca el uso de una mezcla diseñada para resistir el agrietamiento por fatiga como capa intermedia de mezcla asfáltica en la estructura de pavimento, además, se establecen en ese documento los valores de desempeño que se deben cumplir, sin embargo, mediante la Orden de Modificación No. 1 del 30 de octubre del 2018, estos valores de especificación se modificaron posteriormente en concordancia con la actualización del CR-2010 del año 2017, además, en dicha orden se destacó la importancia de que la mezcla asfáltica cumpla con un requisito mínimo de ciclos a la fatiga dadas las condiciones del proyecto.

Es por esto que, mediante el oficio EIC-Lanamme-782-2022 del 21 de setiembre del 2022, el Equipo Auditor solicitó los informes de resultados de los ensayos AASHTO T321 realizados por la Supervisión en el lapso de enero del 2020 a junio del 2022 como parte de las labores de verificación de la calidad de la mezcla que se utiliza en el proyecto. Ante lo cual, la Supervisión remite la información solicitada mediante el oficio CSRN32-1229-2022 del 4 de octubre del 2022, donde se adjuntan resultados de diferentes pruebas solicitadas por el Gestor del proyecto mediante laboratorios externos, en el Anexo A.1 se muestra el listado de informes de la Supervisión.

Con base en esta información se presentan a modo de resumen las Tabla 22 y Tabla 23 donde se marca con un símbolo de chequeo los meses que cuentan con producción de mezcla para



cada sector, resaltado en color verde la casilla del mes y centro de producción que poseen resultados de fatiga por parte de la verificación.

Tabla 22. Meses que cuentan con muestreos de MAC con TMN de 19,0 mm según centro de producción en el periodo enero 2020 – junio 2022 y meses que cuentan con datos del ensayo de fatiga

Año 2020		Mes de producción											
Sector		Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.					
Rama 1	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Rama 2	-					✓	✓						
Rama 3 (HSolís)	-			✓	✓	✓		✓					
Rama 3 (MECO)	-								✓				
Año 2021		Mes de producción											
Sector	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.*	Dic.*	
Rama 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Rama 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Rama 3 (HSolís)	✓	✓	✓			✓							
Rama 3 (MECO)						✓		✓					
Año 2022		Mes de producción											
Sector	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.							
Rama 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Rama 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Rama 3 (HSolís)													
Rama 3 (MECO)	✓	✓	✓	✓	✓	✓							

*No se cuenta con los informes de verificación de la calidad

(i) Se cuenta con resultados del ensayo de fatiga según datos de Supervisión

Tabla 23. Meses que cuentan con muestreos de MAC de TMN 12,5 mm según centro de producción en el periodo enero 2020 – junio 2022 y meses que cuentan con datos del ensayo de fatiga

Año 2021		Mes de producción											
Sector	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.*	Dic.*	
Rama 1			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			
Rama 2					✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Rama 3 (HSolís)		✓	✓	✓		✓							
Rama 3 (MECO)													
Año 2022		Mes de producción											
Sector	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.							
Rama 1	✓		✓			✓							
Rama 2	✓	✓	✓		✓	✓							
Rama 3 (HSolís)													
Rama 3 (MECO)			✓	✓	✓	✓							

*No se cuenta con los informes de verificación de la calidad

(i) Se cuenta con resultados del ensayo de fatiga según datos de Supervisión

Se identifica que la Supervisión únicamente cuenta con resultados de ensayos de fatiga para 15 muestras, obtenidas de los diferentes centros de producción que se utilizan en el proyecto para el periodo que comprende este informe. No obstante, a partir de periodos de producción de mezcla de 19 mm y de mezcla de 12,5 mm, que se detallan en la Tabla 22 y Tabla 23, la Supervisión del proyecto debió contar con aproximadamente 29 muestras de MAC de 19,0 mm y 16 muestras de MAC de 12,5 mm para el ensayo AASHTO T321 tal y como se aprecia en la Tabla 24, considerando que para la fabricación de ese material se utilizan 4 diferentes centros de producción, por lo que existen distintos diseños de mezcla que deben ser evaluados durante la etapa constructiva como parte del aseguramiento de la calidad de los materiales.



Tabla 24. Número de pruebas de fatiga requeridas según el plan de muestreo versus el número de pruebas realizado por la Supervisión.

MAC TMN de 19,0 mm		
Sector	Número de pruebas requerido según plan de muestreos	Número de pruebas realizado por la Supervisión según oficio CSRN32-1229-2022
Rama 1	12	6
Rama 2	9	1
Rama 3 (Subcontratista HSolís)	4	1
Rama 3 (Subcontratista MECO)	4	2
MAC TMN de 12,5 mm		
Sector	Número de pruebas requerido según plan de muestreos	Número de pruebas realizado por la Supervisión según oficio CSRN32-1229-2022
Rama 1	6	1
Rama 2	6	2
Rama 3 (Subcontratista HSolís)	2	1
Rama 3 (Subcontratista MECO)	2	1

Sobre la ejecución del ensayo de fatiga AASHTO T321, se destaca que la UE32 del proyecto indicó mediante el oficio UE-DRA-RN32-002-2022-0312 del 18 de febrero del 2022 el uso de esta prueba como un dato de control del proyecto y no como una prueba de aceptación de la mezcla (pese a estar contemplado en los documentos contractuales del proyecto), no obstante, esto no implica que la frecuencia de ejecución del ensayo se deba modificar ya que se deben cumplir con los muestreos establecidos en el plan de calidad.

Sobre los ensayos de deformación permanente

En relación con estos ensayos, se puede observar en la Tabla 21 que se establecen dos pruebas distintas para el control de este fenómeno en función del tipo de mezcla evaluada. Respecto a la prueba con el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA) se debe cumplir con un ensayo por diseño de mezcla con TMN de 19,0 mm, como se aprecia en la Tabla 18 se tienen resultados para 5 muestreos distintos de material, no obstante, para la muestra 20/7105 obtenida del informe CR-LAB-SI-2020-004 correspondiente al mes de junio del 2020, no fue posible identificar la información de muestreo por lo que no es posible establecer a que plantel de producción pertenece. En la Tabla 25 se puede apreciar a modo de resumen la cantidad de pruebas de APA requeridas según el plan de muestreo versus el número de pruebas realizado por la Supervisión.

Tabla 25. Número de pruebas de APA requeridas según el plan de muestreo versus el número de pruebas realizado por la Supervisión para las muestras de MAC de 19,0 mm.

MAC TMN de 19,0 mm		
Sector	Número de pruebas requerido según plan de muestreos	Número de pruebas realizado por la Supervisión según informes de verificación
Rama 1	1	2
Rama 2	1	1
Rama 3 (Subcontratista HSolís)	1	0
Rama 3 (Subcontratista MECO)	1	1



Por otro lado, para la prueba de Rueda de Hamburgo se establece una frecuencia de ensayo de 1 muestreo cada dos meses para los diseños de mezcla con TMN de 12,5 mm, no obstante, en los informes de verificación únicamente fue posible identificar resultados de esta prueba para dos mezclas correspondientes a los sectores de CHEC Rama 1 y Rama 2 en el informe CR-LAB-SI-2022-004 (del mes de abril del 2022) tal y como se muestra en la Tabla 19.

Por lo cual, con base en los periodos de producción para la mezcla de 12,5 mm, se puede observar en la Tabla 26 cantidad de pruebas de Rueda de Hamburgo requeridas según el plan de muestreo versus el número de pruebas realizado por la Supervisión.

Tabla 26. Número de pruebas de Rueda de Hamburgo requeridas según el plan de muestreo versus el número de pruebas realizado por la Supervisión para las muestras de MAC de 12,5 mm.

MAC TMN de 12,5 mm		
Sector	Número de pruebas requerido según plan de muestreos	Número de pruebas realizado por la Supervisión según informes de verificación
Rama 1	6	1
Rama 2	6	1
Rama 3 (Subcontratista HSolís)	2	0
Rama 3 (Subcontratista MECO)	2	0

Se destaca que para el plantel del subcontratista MECO y de HSolís no fue posible identificar resultados de Rueda de Hamburgo en los informes de verificación de calidad remitidos a esta Auditoría.

Sobre los ensayos al ligante asfáltico modificado

Respecto a las pruebas de calidad que se deben realizar al ligante asfáltico, se puede observar en la Tabla 21 que para la verificación de calidad se debe ejecutar un ensayo de cada tipo a una frecuencia de 2 meses. Con base en la revisión documental, en los resultados que se muestran en las Figura 12 Figura 14 así como en los meses de producción mostrados en las Tablas 22 y 23, se presenta en la Tabla 27 la cantidad requerida de pruebas para cada ensayo de control y el número de pruebas realizado por la Supervisión.

Tabla 27. Número de pruebas de punto de ablandamiento y ligante asfáltico requeridas según el plan de muestreo versus el número de pruebas realizado por la Supervisión.

Sector	Número de pruebas requerido según plan de muestreos*	Número de pruebas realizado por la Supervisión según informes de verificación	
		Punto de ablandamiento	Recuperación elástica
Rama 1	12		
Rama 2	9		
Rama 3 (Subcontratista HSolís)	4	3**	4**
Rama 3 (Subcontratista MECO)	4		

*Se toma en consideración el tipo de mezcla con más meses de producción al utilizarse el mismo asfalto para la producción de ambos tipos de mezcla en la mayoría de casos

**Datos no pueden asociarse a un plantel de producción específico



Se debe destacar que para el ensayo de recuperación elástica se identificaron resultados en los informes de calidad correspondientes a junio 2020 (1 resultado), abril (1 resultado) y mayo (2 resultados) del 2022, mientras que, para la prueba de punto de ablandamiento únicamente fue posible identificar datos en el informe correspondiente al mes de mayo del 2022. No obstante, se destaca que la información incluida no permite establecer claramente las fechas de muestreo del material ni el plantel de producción donde fueron tomadas las muestras por lo que no es posible asociar los resultados a un tipo de mezcla o lote de producción en específico, de manera que esa condición limita la trazabilidad de los resultados.

Por otro lado, al tratarse de mezclas asfálticas modificadas para obtener un mejor desempeño, se realizan ensayos de clasificación por grado de desempeño para el ligante asfáltico modificado, siendo que los diferentes diseños de mezcla establecen un requisito contractual para la temperatura superior del PG. En relación con esta prueba, fue posible identificar resultados para 6 muestras de ligante asfáltico modificado en los informes de junio del 2020; enero y abril del 2021; así como abril y mayo del 2022. No obstante, con base en los meses de producción mostrados en las Tabla 22 y Tabla 23 se presenta en la Tabla 28 la cantidad requerida de pruebas para cada ensayo de control y el número de pruebas realizado por la Supervisión.

Tabla 28. Número de pruebas de clasificación por PG requeridas según el plan de muestreo versus el número de pruebas realizado por la Supervisión.

Sector	Número de pruebas requerido según plan de muestreos*	Número de pruebas realizado por la Supervisión según informes de verificación
Rama 1	12	
Rama 2 19,0 mm	9	
Rama 2 12,5 mm	6	6**
Rama 3 (Subcontratista HSolís)	4	
Rama 3 (Subcontratista MECO)	4	

*Se separan los muestreos requeridos para ambos tipos de mezcla utilizada en el sector de Rama 2 al requerirse dos grados de desempeño distintos

**Datos no pueden asociarse a un plantel de producción específico

Nuevamente, la información indicada en los informes de calidad no permite establecer claramente los datos del muestreo, omitiendo para la mayoría de resultados la fecha en que se realizó el muestreo (a excepción de la muestra 2251-21 tomada el 25/10/2021), el plantel de producción (para las muestras 371-21 plantel HSolís, 1104-22 y 1143-22 plantel Rama 2 se indican los planteles de producción donde se tomó la muestra) y el tipo de mezcla, incluso se destaca que existe un dato para el cual no se presenta el número de muestra. Se reitera que esta condición limita la trazabilidad y validación de los resultados, en especial al considerar que los diseños de mezcla establecen diferentes requisitos de clasificación por grado de desempeño en los diferentes planteles de producción.

Sobre los muestreos realizados

A partir de los datos observados en las Tabla 24, Tabla 25, Tabla 26, Tabla 27 y Tabla 28 se evidencia un incumplimiento del plan de verificación aprobado para el proyecto para los



ensayos mencionados. Esta condición no permite identificar con claridad las actividades realizadas por el laboratorio encargado de la verificación de la calidad en relación con la mezcla asfáltica y el ligante asfáltico modificado.

Respecto al cumplimiento del plan de verificación establecido por la Supervisión, se debe comprender que debido a que los proyectos de construcción de obras viales incorporan el uso de diferentes materiales para el desarrollo de las actividades constructivas, resulta indispensable evaluar, determinar y asegurar la calidad de los materiales que se incorporan en la obra, en apego con el plan formulado, con el objetivo principal de establecer el nivel de calidad con el que se ejecuta el proyecto y garantizar la durabilidad y desempeño de las obras.

Adicionalmente se destaca que, la evaluación del ligante asfáltico permite cuantificar el efecto que tienen los agentes modificantes en el comportamiento mecánico del material, además la evaluación del desempeño de la mezcla asfáltica permite proyectar el comportamiento ante la formación de grietas de ese material o la susceptibilidad a daños por la deformación permanente durante su puesta en servicio en la estructura de pavimento.

En especial al considerar que, durante la producción de la mezcla asfáltica existen variaciones del proceso, especialmente en algunos aspectos asociados a los insumos que componen la mezcla (contenido de asfalto, tipo de asfalto, proceso modificación del asfalto, propiedades del agregado pétreo, granulometría), lo cual puede producir un comportamiento distinto de ese material, en especial al compararse con el establecido en el diseño de mezcla, razón por la cual deben establecerse procesos de comprobación que aseguren que el material producido cumple con el correcto desempeño.

De manera que la Supervisión del proyecto debió realizar un monitoreo continuo de las propiedades de los materiales en apego a las frecuencias establecidas en el plan de verificación de la calidad, de manera que le fuere posible identificar cualquier problema en la producción de la mezcla, notificarlo al Contratista y que fuese corregido en el proyecto.



CONCLUSIONES

SOBRE LA BASE ESTABILIZADA

- Mediante la Orden de Modificación No. 6, se modificó el límite de resistencia superior de la base estabilizada pasando de 3,9 MPa a 5,5 MPa, y como límite inferior se utiliza el contemplado en la sección 302 del CR-2010 con un valor de 2,1 MPa.
- A partir de los informes de verificación de la Supervisión, el 25 % de las muestras presentan incumplimientos de resistencia, donde se obtuvieron resistencias de hasta 110 kg/cm².
- En cuatro muestreos realizados por la Supervisión se registró una resistencia a la compresión simple inferior al valor mínimo requerido contractualmente.
- A partir de los datos de la Supervisión se determinó que la mayoría de muestras se agrupan en la categoría de riesgo de agrietamiento de moderado a alto, con resistencias que varían entre 40 y 55 kg/cm².
- Por su parte, los resultados del LanammeUCR reflejan un 38 % de las muestras que sobrepasan el límite superior, con resistencias de hasta 76 kg/cm², además, se destaca que no se obtuvo ninguna muestra por debajo del límite inferior.
- Se identificó una menor variabilidad en los resultados de las muestras obtenidas en las zonas donde se realiza la producción de la BE mediante planta de mezclado, esto a partir de los resultados de la Supervisión y del LanammeUCR.
- Se identificó que para el proyecto no se realiza una evaluación estadística de los datos de resistencia en la BE según la sección 107.05 sino que se establece la aceptación o el rechazo de los paños según el apartado 7.5 del Contrato.
- Se evidenció que cuando se obtienen resistencias por encima del valor establecido contractualmente se realiza el prefisurado del paño de base estabilizada, mientras que, para resistencias bajas el Contratista realiza la remoción del paño afectado por la muestra.
- El Contratista realizó la inclusión de un aditivo retardante de fragua en la fórmula de trabajo para la base estabilizada que se produce en los sectores de Rama 1 y Rama 2, no obstante, no se identificó el respaldo técnico mediante una actualización del diseño de mezcla, en el cual se cuantifique el efecto del aditivo en los parámetros de resistencia a la compresión, en la densidad y trabajabilidad de la base estabilizada.
- Se identificó que, a partir de las recomendaciones de la ficha técnica del aditivo utilizado, el Contratista debió determinar el porcentaje óptimo de aditivo y el efecto en los parámetros contractuales mediante las pruebas requeridas.

SOBRE EL LIGANTE ASFÁLTICO

- De forma general las muestras de ligante asfáltico obtenidas del plantel de producción del sector de Rama 1 evidencia el cumplimiento de los requisitos establecidos en la subsección 702.02 para el asfalto modificado.
- Se identificaron dos incumplimientos en los resultados de las pruebas de punto de ablandamiento del grupo de muestras tomadas de los sectores de Rama 2 y Rama 3,



esto es indicativo de una alteración en el procedimiento de modificación del asfalto realizado por el Contratista.

- Los posibles cambios en el proceso de modificación del asfalto para las muestras con incumplimientos representan una alteración de las características del ligante consideradas en el diseño de mezcla asfáltica lo que puede provocar una mayor susceptibilidad a fenómenos de deterioro de la mezcla asfáltica.
- Se identificaron incumplimientos de la temperatura superior de la clasificación por grado de desempeño superior de 7 muestras aleatorias de ligante asfáltico muestreado en los 4 centros de producción de mezcla asfáltica.
- Los incumplimientos detectados en el grado de desempeño de algunas muestras de asfalto modificado pueden representar una mayor susceptibilidad de la mezcla asfáltica a deterioros por deformación permanente como ahuellamientos y corrugaciones.

SOBRE LA MEZCLA ASFÁLTICA

- Se evidenciaron incumplimientos en los parámetros volumétricos de VMA, VFA y relación polvo/asfalto para algunas de las muestras de las mezclas de 12,5 mm y 19,0 mm, tanto para los resultados de la Supervisión como para los muestreos realizados por el LanammeUCR.
- Para las mezclas de 12,5 mm, se identificaron incumplimientos del porcentaje de vacíos para los muestreos realizados por el LanammeUCR, mientras que los resultados de la Supervisión presentaron una tendencia a encontrarse dentro del rango especificado.
- En el caso de las mezclas de 19,0 mm, se evidenciaron incumplimientos en el contenido de asfalto y en el porcentaje de vacíos, tanto para los muestreos realizados por la Supervisión y por el LanammeUCR.
- Se identificó que la mezcla asfáltica utilizada como capa intermedia con TMN de 19,0 mm fue la que presentó una mayor cantidad de muestreos con incumplimientos de los parámetros volumétricos evaluados tanto para los muestreos del LanammeUCR como para las muestras tomadas por la Supervisión.
- A partir de los resultados evaluados por la Supervisión y por el LanammeUCR para ambos tipos de mezcla se evidenció que el parámetro VFA es el que presenta un porcentaje mayor de muestras con incumplimientos.
- Los incumplimientos registrados en los parámetros volumétricos se pueden asociar con el desempeño final de la mezcla asfáltica a fenómenos de deformación permanente, agrietamiento por fatiga o incluso daño por humedad, así como deterioros superficiales como la exudación que pueden presentarse en el mediano y largo plazo.
- En general las muestras obtenidas por el LanammeUCR y por la Supervisión evidencian una tendencia al cumplimiento de las tolerancias granulométricas permitidas por el diseño de mezcla, no obstante, se identificaron incumplimientos en algunos tamices.
- Se identificaron una mayor cantidad de incumplimientos en la estructura granulométrica para las mezclas de TMN de 19,0 mm respecto a las muestras con TMN de 12,5 mm, esto para los resultados obtenidos tanto por el LanammeUCR como por la Supervisión del proyecto.



- Se identificó que las muestras evaluadas por el LanammeUCR para las mezclas de 12,5 mm y 19,0 mm cumplen los requisitos de deformación permanente de acuerdo con las pruebas de APA y Rueda de Hamburgo.
- Las muestras que presentaron un mejor comportamiento ante la deformación permanente corresponden a las tomadas del plantel de CHEC Rama 2 de acuerdo con los resultados de las pruebas de APA y Rueda de Hamburgo.
- Las mezclas con TMN de 19,0 mm evidenciaron una mayor tendencia al ahuellamiento respecto a las muestras tomadas con TMN de 12,5 mm, esto de acuerdo con los muestreos realizados por el LanammeUCR.
- A partir de los resultados de fatiga obtenidos por el LanammeUCR se evidenció que las mezclas de 19,0 mm presentan una mayor susceptibilidad al fenómeno de agrietamiento por fatiga. Únicamente se registró una muestra que cumple con los requisitos establecidos contractualmente.
- Los resultados de la Supervisión reflejan que únicamente una muestra con TMN de 19,0 mm presenta incumplimientos.
- Se identificaron discrepancias entre el criterio de falla utilizado para los ensayos de fatiga ejecutados por el LanammeUCR y el criterio de falla usado para los ensayos realizados para el laboratorio de verificación de la calidad del Gestor del Proyecto.
- Se identificó que la frecuencia de aplicación del ensayo AASHTO T321 establecida en el plan de muestreos de la Supervisión del proyecto al inicio del mismo, para las mezclas de 12,5 mm y 19,0 mm, era de 1 prueba cada 2 meses de producción.
- Se evidenció que la Supervisión únicamente realizó 15 ensayos para el ensayo de fatiga en la mezcla asfáltica, sin embargo, considerando la frecuencia de muestreo establecida contractualmente y los meses de producción, se debían ejecutar al menos 45 ensayos de fatiga al considerar los diferentes diseños de mezcla asfáltica y los 4 centros de producción que se utilizaron en el proyecto.

RECOMENDACIONES

SOBRE LA BASE ESTABILIZADA

- Se recomienda a la Unidad Ejecutora del Proyecto valorar la oportunidad de mejora en relación con el proceso de prefisurado que se realiza en la base estabilizada tal y como se indicó en el informe EIC-Lanamme-INF-0509-2022.
- Se recomienda a la Supervisión monitorear las secciones de pavimento donde se han obtenido las resistencias elevadas con el objetivo de identificar de manera oportuna algún defecto sobre la carpeta asfáltica debido al reflejo de los cortes o al agrietamiento de la base estabilizada a fin de ejecutar oportunamente actividades correctivas en el proyecto.
- Se recomienda la Unidad Ejecutora del Proyecto, solicitar una revisión de los diseños de mezcla de la base estabilizada, con el fin de optimizar los materiales que componen la mezcla y reducir la cantidad de muestras que presentan incumplimientos del límite superior de resistencia.



- Se recomienda a la Supervisión solicitar al Contratista la actualización de los diseños de base estabilizada contemplando el efecto del aditivo en la resistencia de la base estabilizada tanto a edades tempranas como a los 7 días establecidos contractualmente.

SOBRE EL LIGANTE ASFÁLTICO

- Se recomienda a la Unidad Ejecutora del Proyecto solicitar al Contratista la revisión y actualización constante de los procesos de adición de los agentes modificantes del ligante asfáltico en función de los resultados de control de calidad que se obtengan del asfalto modificado, en especial para los centros de producción de CHEC Rama 2 y HSolís donde se identificaron incumplimientos a partir de las muestras del LanammeUCR.
- Se recomienda a la Supervisión valorar un incremento en la frecuencia de ejecución de los ensayos de punto de ablandamiento, recuperación elástica y clasificación PG del asfalto modificado para los diferentes centros de producción que se utilizan en el proyecto, de manera que sea posible identificar cambios en el material y realizar las modificaciones requeridas.
- Se recomienda la ejecución de ensayos de control de calidad regularmente para el ligante asfáltico convencional, que permitan identificar cambios en el material base por modificar con la finalidad de ajustar la tasa de dosificación de los agentes modificantes utilizados en función de parámetros establecidos como la viscosidad o la clasificación por grado de desempeño.

SOBRE LA MEZCLA ASFÁLTICA

- Se recomienda a la Unidad Ejecutora del Proyecto solicitar al Contratista la implementación de medidas de tratamiento para aquellos paños donde se tienen abiertas No Conformidades por parte del Gestor del proyecto, debido a los incumplimientos de parámetros volumétricos evidenciados en este análisis.
- Se recomienda a la Administración establecer para este y futuros proyectos una frecuencia de revisión de los diseños de mezcla asfáltica utilizados, de forma que sea posible contemplar variaciones en los insumos que componen la mezcla como el asfalto o los agregados utilizados.
- Se recomienda a la Administración, para futuros proyectos elaborados mediante el mecanismo de suma alzada, valorar el uso de la sección 107.05 del CR 2020 como una herramienta de la Administración para aprobar el pago reducido de trabajos ante incumplimientos en los parámetros de calidad establecidos en las especificaciones del proyecto para la mezcla asfáltica, esto en caso que se considere conveniente para el proyecto.
- Se recomienda al Gestor del proyecto aumentar la frecuencia de revisión de las propiedades físicas y mecánicas del agregado utilizado como insumo para la producción de la mezcla asfáltica.
- Se recomienda a la Administración solicitar que se garanticen las buenas prácticas de homogenización de los apilamientos en el patio de producción con el objetivo de evitar o disminuir la segregación de los agregados.



- Se recomienda a la Supervisión ejecutar continuamente ensayos de deformación permanente como APA y Rueda de Hamburgo con el objetivo de cuantificar adecuadamente el comportamiento del material ante este fenómeno, en especial al tratarse de una ruta con un tránsito predominante de vehículos pesados.
- Se recomienda al Gestor del proyecto dar monitoreo a los tramos donde se colocó la mezcla asfáltica en la que se identificaron incumplimientos del ensayo de fatiga a partir de los resultados del LanammeUCR de forma que se puedan identificar deterioros por fatiga prematuros.
- Se recomienda a la Supervisión implementar la ejecución del ensayo de fatiga AASHTO T321 en conformidad con la frecuencia establecida en el plan de muestreo y ensayo, de manera que sea posible identificar muestras que presentan una mayor susceptibilidad ante el fenómeno de agrietamiento por fatiga.

REFERENCIAS

- Arce, M. (2011). Bases estabilizadas con cemento Algunos comentarios sobre sus ventajas e inconvenientes. Boletín Técnico Vol. 2 No. 19, LanammeUCR.
- Ávila-Esquivel, T. (2012). Experiencia costarricense en diseño. Aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas con cemento. Publicación técnica Vol. 1 No. 1, LanammeUCR, Universidad de Costa Rica.
- Ávila-Esquivel, T., Sequeira-Rojas, W., Aguiar-Moya, J. P., & Elizondo-Salas, A. L. (2020). Calibración de especificaciones para bases estabilizadas con cemento en Costa Rica. Segundo Informe de avance.
- Cervantes, V., Salas, M. (2016). Causas y consecuencias de la exudación. Boletín Técnico Vol. 7 No. 6, LanammeUCR, Universidad de Costa Rica.
- Jamison, B. P. (2012). Laboratory Evaluation of Hot-Mix Asphalt Concrete Fatigue Cracking Resistance (Doctoral dissertation, Texas A & M University).
- MOPT. (2010). Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010. San José: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- Zhou, F., Newcomb, D., & Hu, S. (2022). Ruggedness of Laboratory Tests for Asphalt Mixture Cracking Resistance (No. NCHRP Project 09-57A).



EQUIPO AUDITOR			
Preparado por: Ing. Álvaro Cerdas Murillo Auditor Técnico	Revisado por: Ing. Francisco Fonseca Chaves Auditor Técnico	Revisado por: Ing. Diego Herra Gómez Auditor Técnico	Revisado por: Ing. Victor Cervantes Calvo Auditor Técnico
Revisión legal por: Lic. Giovanni Sancho Sanz Asesor Legal LanammeUCR	Aprobado por: Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc. Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica	Aprobado por: Ing. Rolando Castillo Barahona Ph.D Director LanammeUCR	



ANEXOS

ANEXO A.1. RESULTADOS DEL ENSAYO AASHTO T321 REALIZADOS POR LA SUPERVISIÓN

Tabla A.1.1. Informes de resultados del ensayo AASHTO T321 realizados por la Supervisión. Adaptado del oficio CSRN32-1229-2022

Descripción	Muestra	No. Informe
MAC19 Rama 1 CHEC, Producción 30 de julio 2022	Muestra #2087-22	MAT-TECH RR-406-22
MAC19 Rama 1 CHEC, Producción 30 de julio 2022	Muestra #2115-22	MAT-TECH -RR-407-22
MAC13 Rama 1 MECO, Producción 18 de mayo 2022	Muestra #1350-22	MAT-TECH RR-348-22
MAC19 Rama 2-CHEC, Producción 03 de mayo 2022	Muestra #1212-22	MAT-TECH E-02-RR-353-22
MAC19 Rama 1 MECO, Producción 22 de abril 2022	Muestra #1103-21	MAT-TECH RR-268-22
MAC19 Rama 1-CHEC, Producción 26 de abril 2022	Muestra #1141-21	MAT-TECH E-02-RR-269-22
MAC13 Rama 2 CHEC, Producción 11 de junio 2021	Muestra #1180-21	MAT-TECH RR-144-22
MAC13 Rama 1-CHEC, Producción 8 de agosto 2021	Muestra #1592-21	MAT-TECH RR-146-22
MAC19 Rama 1-CHEC, Producción 16 diciembre 2021	Muestra #2617-21	MAT-TECH RR-165-22
MAC19 Rama 1-MECO, Producción 14 enero 2022	Muestra #127-22	MAT-TECH RR-166-22
MAC19 Rama 3-HSolis, Producción 03 junio 2021	Muestra #1099-21	ITP-496-21
MAC19 Rama 1-CHEC, Producción 16 diciembre 2021	Muestra #0369-21	RIN-INF-2917
MAC13 Rama 3-HSolis, Producción 27 febrero 2021	Muestra #0356-21	RIN-INF-2916
MAC19, Rama 2, Producción 17 marzo 2021	Muestra # 0470-2021	ITP-273-21
MAC19, Rama 1, Producción 29 septiembre 2020	Muestra #2197-20	RIN-INF-2744
MAC19 CHEC Rama 1, Producción 07 julio 2020	Muestra #1511-20	RIN-INF-2362
MAC19 CHEC Rama 1, Producción 04 julio 2020	Muestra #1492-20	RIN-INF-2361



ANEXO A.2. PROCESO DE VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA AUDITORÍA REALIZADA

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

El Equipo Auditor categorizó el impacto, la urgencia de atención de las recomendaciones y el carácter contractual según lo establecido en la Tabla A.2.1 para cada resultado de la auditoría de forma independiente.

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

Tabla A.2.1. Rangos de valoración de los resultados de la auditoría según su impacto, urgencia y cumplimiento contractual

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

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

Posteriormente, se obtuvo el promedio de las valorizaciones obtenidas según cada categoría y se determinó la prioridad de atención sugerida, a las partes interesadas, según lo establecido en la Tabla A.2.2

Tabla A.2.2. Prioridad de atención sugerida según la valoración de los resultados de la auditoría realizada por el Equipo Auditor

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

En la Tabla A.2.3, se muestra la valoración de los resultados de la auditoría de este informe. También se muestra la prioridad de atención sugerida, según la escala de colores mostrada en la Tabla A.2.2.



Tabla A.2.3. Valoración de los resultados de la auditoría según su impacto, urgencia y cumplimiento contractual para este informe

Hallazgo/observación	Detalle	Valoración
Hallazgo 1	A partir de resultados de la Supervisión y del LanammeUCR, se identificaron algunos incumplimientos de resistencia en la base estabilizada, con un 25 % de las muestras que presentan resistencias por fuera del rango de tolerancia establecido contractualmente según datos de la supervisión.	2,9
Observación 1	Se evidenció que el contratista incluyó el uso de un aditivo retardante de fragua en la producción de la base estabilizada sin actualizar el diseño de mezcla del material.	1,5
Hallazgo 2	Se evidenció el cumplimiento en los parámetros de control de calidad de punto de ablandamiento y el porcentaje de recuperación elástica en la mayoría de las muestras del asfalto modificado a excepción de las muestras tomadas el 19 de enero del 2021 y 08 de junio del 2021.	1,0
Hallazgo 3	Se evidenciaron incumplimientos en muestras aleatorias de ligante asfáltico modificado respecto al grado de desempeño superior requerido para el proyecto.	3,5
Hallazgo 4	Se identificaron incumplimientos en algunos parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con TMN de 19,0 mm y de 12,5 mm a partir de los resultados obtenidos por el laboratorio de verificación de la calidad y el LanammeUCR.	4,1
Hallazgo 5	Se identificó que la estructura granulométrica de las muestras obtenidas por el LanammeUCR y por la Supervisión presentan una tendencia a encontrarse dentro de las tolerancias permitidas por el CR-2010 para cada tipo de mezcla.	1,0
Hallazgo 6	Se evidenció que las muestras tomadas por el LanammeUCR cumplen con los requisitos de desempeño para las pruebas de deformación permanente de Rueda de Hamburgo y APA.	1,0
Hallazgo 7	Se evidenció que existen muestras de mezcla asfáltica con TMN de 12,5 mm y 19,0 mm tomadas por el LanammeUCR que no satisfacen los requerimientos de fatiga del proyecto.	3,3
Hallazgo 8	Se determinó que existen incumplimientos en la frecuencia de ejecución de ensayos realizados por el laboratorio de verificación relacionados con el ligante asfáltico y el desempeño de la mezcla asfáltica según el plan de verificación de la calidad aprobado.	4,1

Los resultados positivos de la auditoría, presentan una valoración de 1,0, ya que no requieren atención inmediata por parte de la Administración, ni de las instituciones establecidas en el Artículo 6 de la Ley 8114 y sus reformas. No obstante, por su trascendencia se recomienda analizarlos y replicarlos para el buen desempeño de éste y de futuros proyectos que se gestionen como parte de las labores que ejecuta la Administración.

ANEXO A.3. DESCARGO DEL INFORME PRELIMINAR EIC-LANAMME-INF-0107-2023

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/cloud/index.php/s/FdspvWoHrhBBTb6>

ANEXO A.4. ANÁLISIS DEL DESCARGO DEL INFORME PRELIMINAR EIC-LANAMME-INF-0107-2023

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/cloud/index.php/s/qxCYQCQEX92qRJvP>