



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO
DE MATERIALES

LanammeUCR

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-0170-16

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES. PROYECTO: RUTA NACIONAL NO.35 SECCIÓN: "SIFÓN-LA ABUNDANCIA".

INFORME EN VERSION FINAL

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
Marzo 2017



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO.35 SECCIÓN: SIFÓN- LA ABUNDANCIA. LM-PI-AT-170-2016

PITRA; Cervantes-Calvo, Víctor ¹; Acosta-Hernández, Erick ²; Hidalgo-Arroyo Ana ³; Sequeira-Rojas, Wendy ⁴ y Loria-Salazar, Luis Guillermo ⁵

¹ Ingeniero Auditor Técnico. PITRA LanammeUCR

² Ingeniero Auditor Técnico. PITRA LanammeUCR

³ Ingeniera Auditora Técnica. PITRA LanammeUCR

⁴ Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica. PITRA LanammeUCR

⁵ Coordinador General Programa de Infraestructura del Transporte LanammeUCR

Palabras Clave: Mezcla asfáltica, Diseño de mezcla, Control y Verificación de Calidad, Base Estabilizada con Cemento, Elementos de Concreto, Acero, Subbase, Espesores de Pintura, Puentes.

Resumen:

Sobre la calidad del material de subbase: Para el caso de los datos reportado por el LanammeUCR en el malla No 4 se puede observar que hay dos datos que se encuentran por debajo del límite inferior. Al realizar el análisis estadístico de los resultados obtenidos por el laboratorio de verificación de calidad, se obtiene un porcentaje fuera de los límites permitidos de 87,0%, mayor al porcentaje permitido (57%) en esta misma malla.

Sobre la calidad del material de base estabilizada tipo BE-25: Del análisis estadístico realizado con los datos de verificación de calidad y del LanammeUCR, se puede evidenciar que la resistencia a la compresión de los cilindros de base estabilizada del proyecto presentan un valor promedio mayor al valor establecido en la especificación del CR-77 de 30 kg/cm², lo que podría provocar problemas de desempeño en el proyecto. Este comportamiento fue advertido por esta Auditoría Técnica desde el 2015.

Sobre la calidad de la pintura de las vigas de los puentes: Los valores de espesores de la pintura de protección contra la corrosión de las vigas metálicas de los puentes sobre el río La Vieja y el río Espino evidencian que las piezas metálicas analizadas presentan una pérdida de protección de la última capa de pintura debido a la exposición.

Sobre la calidad de los elementos de concreto. Las muestras de cilindros de concreto analizadas para diferentes elementos del proyecto (cunetas, barrera New Jersey y elementos del río Espino) presentan valores de resistencia a la compresión que se encuentran dentro de los límites permitidos por la especificación, de acuerdo al análisis realizado utilizando la sección 106.7 del CR-2002, tanto para los datos del LanammeUCR como para los datos del laboratorio de verificación de calidad.

Sobre el espesor de pintura en acero estructural en las vigas de los puentes de La Vieja y el Espino: Se presentan espesores en el acabado final de la pintura de protección contra la corrosión de 14,64 mils (371,8 microns) y 14,43 mils (366,5 microns, respectivamente. Esto en comparación con la indicación de los planos para un acabado final (tercera capa) de 16 mils (406,4 microns), evidencia que las piezas metálicas analizadas presentan una pérdida de protección de la última capa de pintura debido a la exposición.

Sobre el contenido de asfalto de la mezcla convencional y modificada: Se evidencia que algunas muestras de la mezcla modificada con polímero presentan valores de contenido de asfalto fuera de los límites de tolerancia establecidos en el diseño de mezcla asfáltica vigente (4,90% - 5,90%). Igualmente, se observan incumplimientos en las muestras de mezcla asfáltica convencional para el óptimo $\pm 0,5\%$ (4,60% - 5,60%).

Sobre el análisis granulométrico de la mezcla convencional y modificada: Los resultados granulométricos reportados para la combinación granulométrica de la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada con polímero cumplen los límites de especificación para la granulometría de diseño especificada.

Sobre el análisis volumétrico de la mezcla convencional y modificada: Se observa que 70% de las muestras de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con polímero analizadas presentan incumplimientos en alguno de los parámetros Marshall establecidos en la disposición vial AM-01-2001.



Referencias

- Unidad de Auditoría Técnica. (2012). *Evaluación de los estudios geotécnicos preliminares, proyecto: Sifón-La Abundancia*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
- Unidad de Auditoría Técnica. (2015). *LM-AT-014-15 (1/3): Evaluación de los parámetros de desempeño (IRI, FWD, GRIP, APA Y FATIGA) del proyecto de Construcción de la Ruta Nacional No.35 Sección: Sifón-La Abundancia*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
- Unidad de Auditoría Técnica. (2015). *LM-AT-014-15 (2/3): Evaluación de los materiales granulares, base estabilizada y de la planta de producción y de mezcla asfáltica de la constructora Sánchez Carvajal de la Ruta Nacional No.35 Sección: Sifón-La Abundancia*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
- Unidad de Auditoría Técnica. (2015). *LM-AT-014-15 (3/3): Evaluación de las prácticas y procesos constructivos de la vía e inspección estructural de los puentes del proyecto de Construcción de la Ruta Nacional No.35 Sección: Sifón- La Abundancia*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Consejo Nacional de Vialidad (2002). *Manual de Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica MC-2002*. Capítulo No 7.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección Nacional de Vialidad (1977). *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica CR-77*. Capítulo No 1 y Capítulo No 3.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección Nacional de Vialidad (2010). *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica CR-2010*.
- Arce, M. (2011). Boletín Técnico PITRA *Bases estabilizadas con cemento. Algunos comentarios sobre sus ventajas e inconvenientes* Vol 2 N° 19. San José, Costa Rica.
- Herrera, E (2011). Boletín Técnico PITRA. *Fatiga en bases estabilizadas*. Vol 2 N° 21. San José, Costa Rica.
- Halsted, G., Luhr, D., & Adaska, W. (2006). *Guide to Cement-Treated Base (CTB)*. Illinois: PCA.
- Publicación técnica. (2012). *"Experiencia costarricense en diseño, aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas con cemento"*. Volumen 1, Número 1, PITRA-LanammeUCR. Montes de Oca



Información técnica del documento

1. Informe en versión preliminar Informe Final de Auditoría Técnica LM-PI-AT-170-16.	2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO.35 SECCIÓN: SIFÓN- LA ABUNDANCIA	4. Fecha del Informe Marzo, 2017	
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias ---*---*---		
9. Resumen <p>Sobre la calidad del material de subbase: Para el caso de los datos reportado por el LanammeUCR en el malla No 4 se puede observar que hay dos datos que se encuentran por debajo del límite inferior. Al realizar el análisis estadístico de los resultados obtenidos por el laboratorio de verificación de calidad, se obtiene un porcentaje fuera de los límites permitidos de 87,0%, mayor al porcentaje permitido (57%) en esta misma malla.</p> <p>Sobre la calidad del material de base estabilizada tipo BE-25: Del análisis estadístico realizado con los datos de verificación de calidad y del LanammeUCR, se puede evidenciar que la resistencia a la compresión de los cilindros de base estabilizada del proyecto presentan un valor promedio mayor al valor establecido en la especificación del CR-77 de 30 kg/cm², lo que podría provocar problemas de desempeño en el proyecto. Este comportamiento fue advertido por esta Auditoría Técnica desde el 2015.</p> <p>Sobre la calidad de la pintura de las vigas de los puentes: Los valores de espesores de la pintura de protección contra la corrosión de las vigas metálicas de los puentes sobre el río La Vieja y el río Espino evidencian que las piezas metálicas analizadas presentan una pérdida de protección de la última capa de pintura debido a la exposición.</p> <p>Sobre la calidad de los elementos de concreto. Las muestras de cilindros de concreto analizadas para diferentes elementos del proyecto (cunetas, barrera New Jersey y elementos del río Espino) presentan valores de resistencia a la compresión que se encuentran dentro de los límites permitidos por la especificación, de acuerdo al análisis realizado utilizando la sección 106.7 del CR-2002, tanto para los datos del LanammeUCR como para los datos del laboratorio de verificación de calidad.</p> <p>Sobre el espesor de pintura en acero estructural en las vigas de los puentes de La Vieja y el Espino: Se presentan espesores en el acabado final de la pintura de protección contra la corrosión de 14,64 mils (371,8 microns) y 14,43 mils (366.5 microns), respectivamente. Esto en comparación con la indicación de los planos para un acabado final (tercera capa) de 16 mils (406.4 microns), evidencia que las piezas metálicas analizadas presentan una pérdida de protección de la última capa de pintura debido a la exposición.</p> <p>Sobre el contenido de asfalto de la mezcla convencional y modificada: Se evidencia que algunas muestras de la mezcla modificada con polímero presentan valores de contenido de asfalto fuera de los límites de tolerancia establecidos en el diseño de mezcla asfáltica vigente (4,90% - 5,90%). Igualmente, se observan incumplimientos en las muestras de mezcla asfáltica convencional para el óptimo ± 0,5% (4,60% - 5,60%).</p> <p>Sobre el análisis granulométrico de la mezcla convencional y modificada: Los resultados granulométricos reportados para la combinación granulométrica de la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada con polímero cumplen los límites de especificación para la granulometría de diseño especificada.</p> <p>Sobre el análisis volumétrico de la mezcla convencional y modificada: Se observa que 70% de las muestras de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con polímero analizadas presentan incumplimientos en alguno de los parámetros Marshall establecidos en la disposición vial AM-01-2001.</p>		
10. Palabras clave Mezcla asfáltica, Diseño de mezcla, Control y Verificación de Calidad, base estabilizada con cemento, Concreto, Acero.	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 60



INFORME EN VERSIÓN FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

**"Evaluación de la calidad de los materiales del proyecto de construcción sobre la Ruta Nacional No.35
Sección: Sifón-La Abundancia"**

Departamento encargado del proyecto: Gerencia de Construcción de Vías y Puentes de CONAVI, a través de la Unidad Ejecutora de Sifón-La Abundancia

Empresa contratista responsable de la Construcción: Sánchez Carvajal

Empresa responsable del control de calidad: OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A.

Empresa responsable de la verificación: Instituto Nacional de Electricidad (ICE)

Monto original del contrato: US\$61.049.657,12, Addendum N°2: US\$77.558.295,00 Addendum N° 6 US\$43.449.446.95

Plazo original de ejecución: 1460 días naturales. Addendum N°2: incrementa a 910 días Addendum N° 6 571 días adicionales hasta el 13 de octubre del 2015.

Longitud del proyecto: 29,73 km (9+700 a 39+400)

Coordinador General de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA:

Ing. Luís Guillermo Loría Salazar, PhD.

Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica PITRA-LanammeUCR:

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

Auditores:

Ing. Ana Elena Hidalgo (Auditora Líder)

Ing. Víctor Cervantes Calvo (Auditor Adjunto)

Ing. Erick Acosta Hernández (Auditor adjunto)

Asesor Legal:

Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

El alcance de esta auditoría técnica se centró en la evaluación de la calidad de los materiales de subbase granular, base estabilizada con cemento, el concreto de los elementos como cunetas, barreras New Jersey y secciones del puente sobre el río Espino, acero de refuerzo y de la mezcla asfáltica convencional y modificada con polímero, durante los meses de Junio a Noviembre de 2016.

Vistas del proyecto auditado:



Actividades constructivas realizadas en el proyecto.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 5 de 60
----------------------------------	------------------------------	----------------



TABLA DE CONTENIDO

1. FUNDAMENTACIÓN	9
2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	9
3. OBJETIVO DEL INFORME.....	10
3.1. OBJETIVO GENERAL	10
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
4. ALCANCE DEL INFORME	10
5. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	10
6. DOCUMENTOS DE PREVALENCIA	14
7. ANTECEDENTES.....	18
8. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	19
8.1. MARCO CONCEPTUAL	20
9. AUDIENCIA DE LA PARTE AUDITADA	23
10. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	24
10.1. SOBRE LA CALIDAD DEL MATERIAL GRANULAR PARA LA CAPA DE SUBBASE 25	
10.2. SOBRE LA CALIDAD DEL MATERIAL DE BASE ESTABILIZADA TIPO BE-25 DEL PROYECTO.	31
10.3. SOBRE LA CALIDAD DEL ACERO DE REFUERZO.....	36
10.4. SOBRE LA PINTURA DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES SOBRE EL RÍO ESPINO (16+800) Y EL PUENTE SOBRE EL RÍO LA VIEJA (31+400).....	38
10.5. SOBRE EL CONCRETO DE CUNETAS, BARRERAS TIPO NEW JERSEY Y ELEMENTOS DEL PUENTE SOBRE EL RÍO ESPINO	41
10.6. SOBRE EL CONTENIDO DE ASFALTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA CON POLÍMERO	44
10.7. SOBRE EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA CON POLÍMERO	47
10.8. SOBRE EL ANALISIS VOLUMÉTRICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA CON POLÍMERO	52
11. CONCLUSIONES	56
12. RECOMENDACIONES	58
13. REFERENCIAS.....	59

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DETALLE DE LOS MUESTREOS DE MATERIAL DE SUBBASE REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR.	11
TABLA 2. DETALLE DE LOS MUESTREOS DE MATERIAL DE BASE ESTABILIZADA REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR.	11
TABLA 3. DETALLE DE LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR.	12
TABLA 4. IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS DE ACERO OBTENIDAS POR EL LANAMME UCR (22/06/2016).....	12
TABLA 5. DETALLE DE LOS MUESTREOS DE CONCRETO REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR.....	13
TABLA 7. ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL	16
TABLA 6. RESUMEN DE CORRESPONDENCIA DURANTE EL PROCESO DE AUDITORÍA TÉCNICA ...	18
TABLA 8. SECCIÓN TÍPICA EJE PRINCIPAL DEL PROYECTO	20
TABLA 9. TIPOS DE AGRIETAMIENTO ASOCIADOS A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS.....	22

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 6 de 60
----------------------------------	------------------------------	----------------



TABLA 10. RESUMEN DE RESULTADOS DE MUESTRAS DE MATERIAL GRANULAR ANALIZADAS POR EL LANAMMEUCR.	25
TABLA 11. RESUMEN DE RESULTADOS DE MUESTRAS DE MATERIAL GRANULAR ANALIZADAS POR LGC.	28
TABLA 12. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADO PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LABORATORIO LGC, PARA SUBBASE.	28
TABLA 13. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR DE CILINDROS DE BASE ESTABILIZADA, PRESENTADO EN EL INFORME LM-PI-AT-014-15.	31
TABLA 14. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADO PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR DE CILINDROS DE BASE ESTABILIZADA, ANALIZADOS EN JULIO A SEPTIEMBRE 2016.	32
TABLA 15. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADO PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR DE CILINDROS DE BASE ESTABILIZADA, ANALIZADOS EN JULIO A SEPTIEMBRE 2016.	35
TABLA 16. IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS DE ACERO OBTENIDAS POR EL LANAMMEUCR (22/06/2016).	36
TABLA 17. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE ESPESORES DE PINTURA, LANAMMEUCR.	38
TABLA 18. RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS PARA CILINDROS DE CONCRETO PARA CUNETAS ($F'c = 255 \text{ KG/CM}^2$) OBTENIDAS POR EL LANAMMEUCR.	41
TABLA 19. RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS PARA CILINDROS DE CONCRETO PARA BARRERAS TIPO NEW JERSEY ($F'c = 286 \text{ KG/CM}^2$) OBTENIDAS POR EL LANAMMEUCR.	41
TABLA 20. RESULTADOS A LOS 28 DÍAS PARA CILINDROS DE CONCRETO PARA ELEMENTOS DEL PUENTES SOBRE EL RÍO ESPINO ($F'c = 286 \text{ KG/CM}^2$) OBTENIDAS POR EL LANAMMEUCR.	42
TABLA 21. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR DE CILINDROS DE CONCRETO.	43
TABLA 22. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR LGC DE CILINDROS DE CONCRETO.	43
TABLA 23. RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA CONVENCIONAL REPORTADOS POR EL LANAMMEUCR.	45
TABLA 24. RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA MODIFICADA CON POLÍMERO REPORTADOS POR EL LANAMMEUCR.	46
TABLA 25. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL REPORTADOS POR EL LANAMMEUCR.	49
TABLA 26. DETERMINACIÓN DE LA VARIABILIDAD Y CUMPLIMIENTO DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS.	49
TABLA 27. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON POLÍMERO REPORTADOS POR EL LANAMMEUCR.	51
TABLA 28. DETERMINACIÓN DE LA VARIABILIDAD Y CUMPLIMIENTO DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS.	51
TABLA 29. RESULTADOS VOLUMÉTRICOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.	52
TABLA 30. RESULTADOS VOLUMÉTRICOS DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO.	54



LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	20
FIGURA 2. CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE MUESTRAS DE SUB BASE GRANULAR ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	26
FIGURA 3. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SUB BASE PARA LA MALLA NO 4, LANAMMEUCR.	26
FIGURA 4. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SUB BASE PARA LA MALLA NO 40, LANAMMEUCR.	27
FIGURA 5. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SUB BASE PARA LA MALLA NO200, LANAMMEUCR.	27
FIGURA 6. CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE MUESTRAS DE SUB BASE GRANULAR ENSAYADAS POR EL LGC.	29
FIGURA 7. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SUB BASE PARA LA MALLA NO 4, LGC.....	29
FIGURA 8. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SUB BASE PARA LA MALLA NO 40, LGC.....	30
FIGURA 9. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SUB BASE PARA LA MALLA NO200, LGC.....	30
FIGURA 10. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BE-25 ENSAYADOS POR LANAMMEUCR, PRESENTADO EN EL INFORME LM-PI-AT-014-15.....	32
FIGURA 11. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BE-25 ENSAYADOS POR LANAMMEUCR, ANALIZADOS DE JULIO A SEPTIEMBRE DE 2016.....	33
FIGURA 12. CURVA S CON LOS DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BE-25 ENSAYADOS POR LANAMMEUCR, EN EL 2015 Y 2016.	34
FIGURA 13. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BE-25 ENSAYADOS POR LGC. ...	35
FIGURA 14. ALMACENAMIENTO DE VIGAS METÁLICAS PARA EL PUENTE SOBRE EL RÍO ESPINO. (A) PROTEGIDAS CON PLÁSTICO. (B) SIN PROTECCIÓN.....	40
FIGURA 15. GRÁFICO DE LOS RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	45
FIGURA 16. GRÁFICO DE LOS RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	47
FIGURA 17. RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	48
FIGURA 18. RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON POLÍMERO ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	50
FIGURA 19. RESULTADOS DE VOLUMETRÍA EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	53
FIGURA 20. RESULTADOS DE VOLUMETRÍA EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.....	55

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 8 de 60
----------------------------------	------------------------------	----------------



INFORME EN VERSION FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN SOBRE LA RUTAN NACIONAL No 35, SECCIÓN: SIFÓN-LA ABUNDANCIA.

1. FUNDAMENTACIÓN

La auditoría técnica externa a los procesos, controles, laboratorios, proyectos e instituciones públicas que efectúan sus labores para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley N° 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N° 8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

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

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

2. OBJETIVO DE 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.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 9 de 60
----------------------------------	------------------------------	----------------



3. OBJETIVO DEL INFORME

3.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este informe es valorar los parámetros de calidad establecidos para los materiales utilizados en el proyecto. Además se evalúan aspectos generales del cumplimiento de especificaciones técnicas y se realiza un análisis estadístico para determinar no solo el cumplimiento sino de estas especificaciones sino la variabilidad de los procesos de producción.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Valorar los parámetros de calidad establecidos para el material de subbase, base estabilizada (BE-25), concreto, acero y la mezcla asfáltica tanto convencional como modificada con polímero utilizada en el proyecto.
- Evaluar aspectos generales del cumplimiento de especificaciones técnicas.
- Realizar un análisis estadístico para determinar no solo el cumplimiento sino de estas especificaciones sino la variabilidad de los procesos de producción.

4. ALCANCE DEL INFORME

El estudio que realiza esta auditoría consiste en el análisis de la calidad de las muestras de material de subbase y base estabilizada (BE-25), concreto, acero, además de un análisis a la mezcla asfáltica producida en el periodo comprendido entre el mes de Junio a Noviembre de 2016.

5. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

La labor que se efectúa en un proceso de auditoría se orienta en recopilar y analizar evidencias durante un periodo definido, así como identificar posibles elementos y aspectos que puedan afectar la calidad del proyecto. La auditoría técnica que realiza el LanammeUCR no puede compararse, ni considerarse como una actividad de control de calidad o supervisión, la cual, le compete exclusivamente al Contratista como parte de su obligación contractual y que debe ser ejecutada como una labor de carácter rutinario en el proyecto. Tampoco puede conceptualizarse como una labor de verificación de calidad y supervisión que es de entera responsabilidad de la Administración. Es función del MOPT-CONAVI, analizar con las partes involucradas las consecuencias expuestas en los hallazgos incluidos en los informes de la Auditoría Técnica.

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

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 10 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Las actividades que fueron desarrolladas por el equipo de Auditoría Técnica consistieron en visitar los diversos frentes de trabajo y hacer una revisión de los documentos contractuales relacionados con el proyecto, así como programar muestreos a los materiales.

Durante el proceso de auditoría realizado por la Auditoría Técnica del LanammeUCR se realizaron muestreos de subbase y base estabilizada tipo BE-25, concreto y acero, además de mezcla asfáltica entre los meses de Junio a Noviembre de 2016. Posteriormente, las muestras de material granular fueron ensayadas por el laboratorio para determinar los siguientes parámetros: CBR, límites de consistencia y granulometría, en cuanto a las pastillas de Base Estabilizada se fallaron a los siete días para determinar la resistencia a la compresión. En el caso de los elementos de concreto muestreados se fallaron a los 7 y 28 días, en el caso del acero de refuerzo se realizó un muestreo de varillas de diferentes diámetros y se realizaron los ensayos respectivos.

En la Tabla 1 se resume la información de las muestras de subbase analizadas en este informe y en la Tabla 2 las muestras de Base Estabilizada.

Tabla 1. Detalle de los muestreos de material de subbase realizados por el LanammeUCR.

Informe	Muestra	Est.	Fecha Muestreo
I-1099-16	M-1442-16	17+500	16/06/2016
I-1099-16	M-1897-16	17+950	04/08/2016
I-1181-16	M-1946-16	Planta	09/08/2016

Tabla 2. Detalle de los muestreos de material de Base Estabilizada realizados por el LanammeUCR.

Informe	Muestra	Est.	Fecha Muestreo
I-1181-16	M-1481-16	Planta	09/06/2016
	M-1482-16	Planta	09/06/2016
I-0840-16	M-1366-16	17+355	08/06/2016
I-0750-16	M-1368-16	14+415	16/06/2016
I-0933-16	M-1714-16	17+225	14/07/2016
I-0965-16	M-1755-16	17+425	21/07/2016
I-0966-16	M-1756-16	17+495	22/07/2016
I-0995-16	M-1826-16	17+630	27/07/2016
	M-1824-16	14+435	26/07/2016
	M-1828-16	17+720	29/07/2016
I-1048-16	M-1899-16	17+995	05/08/2016
I-1052-16	M-1949-16	17+530	11/08/2016
I-1053-16	M-1947-16	17+530	12/08/2016
I-1100-16	M-2022-16	18+020	17/08/2016
I-1141-16	M-2107-16	17+660	23/08/2016
I-1142-16	M-2109-16	18+120	24/08/2016
I-1143-16	M-2111-16	18+150	25/08/2016

Asimismo, durante el periodo de la auditoría técnica se visitaron frentes de trabajo y se tomaron muestras de la mezcla asfáltica producida (mezcla convencional y mezcla modificada con polímero). Las muestras fueron tomadas de manera aleatoria en la planta de producción o en el sitio de colocación, las cuales fueron posteriormente ensayadas por el Laboratorio de Mezclas Bituminosas del LanammeUCR.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 11 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Los ensayos realizados consistieron en determinar el valor del contenido de asfalto, la composición granulométrica y se determinó la volumetría de cada una de las muestras, en la Tabla 3 se presenta cronológicamente el detalle de las muestras de mezcla asfáltica.

Tabla 3. Detalle de los muestreos de mezcla asfáltica en caliente realizados por el LanammeUCR.

Informe /Muestra	Fecha	Tipo de Mezcla
I-0790-16 M-1477-16	23/06/2016	Convencional
I-0797-16 M-1500-16	24/06/2016	Convencional
I-0855-16 M-1571-16	30/06/2016	Convencional
I-0954-16 M-1759-16	19/07/2016	Convencional
I-0977-16 M-1837-16	29/07/2016	Convencional
I-1092-16 M-2021-16	19/08/2016	Convencional
I-1135-16 M-2104-16	24/08/2016	Convencional
I-1156-16 M-2183-16	31/08/2016	Convencional
I-1156-16 M-2184-16	01/09/2016	Convencional
I-1295-16 M-2388-16	29/09/2016	Convencional
I-1295-16 M-2389-16	30/09/2016	Convencional
I-0846-16 M-1570-16	14/07/2016	Modificada
I-1718-16 M-1718-16	14/07/2016	Modificada
I-0960-16 M-1760-16	20/07/2016	Modificada
I-0960-16 M-1761-16	21/07/2016	Modificada
I-1138-16 M-2103-16	23/08/2016	Modificada
I-1138-16 M-2106-16	25/08/2016	Modificada
I-1157-16 M-2185-16	02/09/2016	Modificada
I-1209-16 M-2252-16	09/09/2016	Modificada

También se presentan a continuación las muestras de acero estructural que se obtuvieron durante el proceso de auditoría técnica.

Tabla 4. Identificación de muestras de acero obtenidas por el Lanamme UCR (22/06/2016)

Informe	Muestra	Elemento	Identificación de la Varilla
I-0892-16	M-1502-16	Varillas de acero N° 3	AM 3 W 60 CR
	M-1503-16	Varillas de acero N° 4	AM 4 W 60 CR
	M-1504-16	Varillas de acero N° 5	AM 5 W 60 CR
	M-1505-16	Varillas de acero N° 6	AM 6 W 60 CR
	M-1506-16	Varillas de acero N° 7	AM 7 W 60 CR
	M-1507-16	Varillas de acero N° 8	AM 8 W 60 CR
	M-1508-16	Varillas de acero N° 9	AM 9 W 60 CR
	M-1509-16	Varillas de acero N° 10	AM 10 W 60 CR
	M-1510-16	Varillas de acero N° 10	LC 11 W 60 COSTA RICA

Finalmente, se muestreó concreto de diferentes elementos, tales como cunetas, barreras tipo New Jersey y elemento del puente sobre el río Espino (bastión, pila y pilotes), los cuales se detallan a continuación.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 12 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Tabla 5. Detalle de los muestreos de concreto realizados por el LanammeUCR.

Informe	Muestra	Elemento	Fecha Muestreo
I-0807-16	M-1453-16	Cuneta	15/06/2016
I-0807-16	M-1454-16	Cuneta	16/06/2016
I-0956-16	M-1521-16	Cuneta	21/06/2016
I-0956-16	M-1522-16	Cuneta	22/06/2016
I-0956-16	M-1524-16	Cuneta	23/06/2016
I-0868-16	M-1578-16	Cuneta	29/06/2016
I-0868-16	M-1582-16	Cuneta	30/06/2016
I-0890-16	M-1637-16	Cuneta	05/07/2016
I-0890-16	M-1639-16	Cuneta	06/07/2016
I-0932-16	M-1720-16	Cuneta	12/07/2016
I-0932-16	M-1722-16	Cuneta	13/07/2016
I-0932-16	M-1724-16	Cuneta	14/07/2016
I-0962-16	M-1763-16	Cuneta	19/07/2016
I-0962-16	M-1767-16	Cuneta	21/07/2016
I-0996-16	M-1842-16	Cuneta	27/07/2016
I-0996-16	M-1845-16	Cuneta	28/07/2016
I-1044-16	M-1902-16	Cuneta	04/08/2016
I-1073-16	M-1952-16	Cuneta	10/08/2016
I-0750-16	M-1385-16	Barrera tipo New Jersey	08/06/2016
I-0750-16	M-1390-16	Barrera tipo New Jersey	09/06/2016
I-0807-16	M-1452-16	Barrera tipo New Jersey	14/06/2016
I-0807-16	M-1455-16	Barrera tipo New Jersey	15/06/2016
I-0807-16	M-1456-16	Barrera tipo New Jersey	16/06/2016
I-0956-16	M-1523-16	Barrera tipo New Jersey	22/06/2016
I-0868-16	M-1577-16	Barrera tipo New Jersey	28/06/2016
I-0868-16	M-1579-16	Barrera tipo New Jersey	29/06/2016
I-0868-16	M-1583-16	Barrera tipo New Jersey	30/06/2016
I-0890-16	M-1638-16	Barrera tipo New Jersey	05/07/2016
I-0890-16	M-1640-16	Barrera tipo New Jersey	06/07/2016
I-0962-16	M-1764-16	Barrera tipo New Jersey	19/07/2016
I-0962-16	M-1766-16	Barrera tipo New Jersey	20/07/2016
I-0962-16	M-1768-16	Barrera tipo New Jersey	21/07/2016
I-0996-16	M-1841-16	Barrera tipo New Jersey	26/07/2016
I-0996-16	M-1843-16	Barrera tipo New Jersey	27/07/2016
I-0996-16	M-1846-16	Barrera tipo New Jersey	28/07/2016
I-0932-16	M-1721-16	Barrera tipo New Jersey	12/07/2016
I-0932-16	M-1723-16	Barrera tipo New Jersey	13/07/2016
I-0932-16	M-1725-16	Barrera tipo New Jersey	14/07/2016
I-1044-16	M-1903-16	Barrera tipo New Jersey	04/08/2016
I-1044-16	M-1901-16	Barrera tipo New Jersey	03/08/2016
I-1073-16	M-1951-16	Barrera tipo New Jersey	09/08/2016
I-1073-16	M-1953-16	Barrera tipo New Jersey	10/08/2016
I-1107-16	M-2041-16	Barrera tipo New Jersey	17/08/2016
I-1107-16	M-2043-16	Barrera tipo New Jersey	18/08/2016
I-1209-16	M-2252-16	Barrera tipo New Jersey	09/09/2016
I-1269-16	M-2218-16	Barrera tipo New Jersey	30/08/2016
I-1269-16	M-2219-16	Barrera tipo New Jersey	31/08/2016
I-1134-16	M-2120-16	Barrera tipo New Jersey	23/08/2016
I-1134-16	M-2121-16	Barrera tipo New Jersey	25/08/2016
I-1299-16	M-2392-16	Barrera tipo New Jersey	27/09/2016
I-1258-16	M-2259-16	Barrera tipo New Jersey	06/09/2016
I-1258-16	M-2261-16	Barrera tipo New Jersey	07/09/2016
I-1258-16	M-2263-16	Barrera tipo New Jersey	08/09/2016
I-0962-16	M-1765-16	Puente Río Espino	11/08/2016
I-1073-16	M-1954-16	Puente Río Espino	11/08/2016
I-1073-16	M-1955-16	Puente Río Espino	17/08/2016
I-0996-16	M-1844-16	Puente Río Espino	17/08/2016
I-1107-16	M-2037-16	Puente Río Espino	18/08/2016
I-1312-16	M-2042-16	Puente Río Espino	01/09/2016
I-1269-16	M-2220-16	Puente Río Espino	25/08/2016
I-1134-16	M-2122-16	Puente Río Espino	21/09/2016
I-1294-16	M-2340-16	Puente Río Espino	28/09/2016
I-1299-16	M-2393-16	Puente Río Espino	20/07/2018



6. DOCUMENTOS DE PREVALENCIA

En el año 2014 el CONAVI y el contratista suscribieron las adendas 6 y 7 al contrato, en donde se estableció como parte integrante del contrato el Manual de Construcción para caminos, carreteras y puentes MC-2002.

En la Adenda 6, cláusula primera: Antecedentes, se menciona que:

"... Constituyen antecedentes de la presente Adenda N°6, los siguientes documentos, los cuales se tiene como parte integral del mismo y son de obligatorio acatamiento para las partes..."

Manual de Construcción para Caminos, Carreteras y Puentes, MC-83, del año 1983.

Manual de construcción para caminos, carreteras y puentes MC-2002.

Dicho documento también se menciona en la Adenda N° 7, firmada el 31 de marzo de 2014. Es importante mencionar que ambos documentos fueron aprobados por la CGR en el documento DCA-1834 del 11 de junio del 2014.

El MC-2002 contiene un apartado para control de calidad, evaluación estadística y determinación del factor de pago en donde se establece la metodología para el análisis estadístico de los resultados o mediciones que se obtienen de la evaluación de las características de los materiales o proceso productivos realizados durante la ejecución de la obra.

Es por ello que en el presente informe, para la valoración de los materiales analizados a saber: subbase, base estabilizada, mezcla asfáltica, concreto y acero se aplica la metodología de análisis para determinar el nivel de calidad con relación a las especificaciones, el grado de aceptabilidad y el factor de ajuste de pago asociado.

SUBBASE

De acuerdo a la Tabla 301.2 del CR-2002, para una Subbase se debe analizar con la metodología de pago en función de la calidad

Graduación D	Grado de calidad
No 1 (4,75mm)	I
No 4 (425 mm)	I
No 40 (75 mm)	I
No 200	II
Densidad en sitio y contenido de humedad	II

BASE ESTABILIZADA BE-25

En la sección 308.02 Agregados del CR-77 se indica lo siguiente con respecto a los agregados para bases tratadas con cemento:

Deberán consistir en partículas duras y durables de escorias, piedras, gravas, pizarras, tobas o lastres terminados o triturados para obtener la graduación que se indica a continuación:

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 14 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Tamiz	Porcentaje pasando (%)
50.8mm	100
No 4	50-100
No 40	20-70
No 200	5-35

Valores a cumplir:

Límite líquido máximo = 40%

Índice Plástico \leq 8%

Se podrán aceptar materiales con valores más altos que los indicados siempre y cuando al ser mezclados con cemento en el porcentaje por peso establecidos, los valores de límite líquido e Índice Plástico sean iguales o menores a los pedidos.

Requisitos de resistencia: La resistencia de la base mezclada con el porcentaje de cemento portland establecido y compactado al 100 por ciento de la densidad máxima deberá cumplir con el siguiente requisito de acuerdo al tipo de base estabilizada especificada.

Tabla de base estabilizada	Resistencia mínima permisible (kg/cm ²)	Resistencia promedio permisible (kg/cm ²)	Tiempo de curado
BE-25	21	30	7 días

PAVIMENTOS BITUMINOSOS MEZCLADOS EN CALIENTE

Con relación a la mezcla asfáltica la Disposición AM-01-2001 actualiza lo indicado en la sección 401.04 del CR-77 estableciendo la composición de las mezclas y proporción de los materiales. La mezcla asfáltica en caliente es la combinación de cemento asfáltico, agregados minerales y eventualmente relleno mineral y/o aditivos, íntimamente combinados en las proporciones y temperaturas de diseño. El mezclado debe ser tal que todas las partículas de los agregados queden cubiertas en su totalidad por una película de ligante.

401.04.02 Agregados: Los agregados procesados individualmente por fuente, serán aceptados una vez que cumplan con los requisitos de calidad:

401.04.02.01 Graduación de la combinación: Los agregados deben cumplir con los requisitos de estructura granulométrica de la Tabla 401.1

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 15 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Tabla 401.1 Especificaciones de graduación para mezcla asfáltica en caliente

Mallas	Graduación			
	19mm	Tolerancia	12.5mm	Tolerancia
25.4mm	100	-	-	
19.0mm	90-100	±5	100	
12.7mm	68-90	±5	90-100	±5
9.5mm	56-80	±5	70-90	±5
N° 4	35-57	±4	45-65	±4
N° 8	23-35	±4	28-39	±4
N° 30	14-22	±4	16-26	±4
N° 50	9-17	±4	9-19	±4
N° 100	6-14	±4	5-16	±4
N° 200	2-8	±2	2-8	±2

De acuerdo a su finalidad, los tamaños máximos de los agregados y vacíos de la mezcla deben estar en conformidad con la siguiente tabla:

Concreto asfáltico para:	Agregado tamaño máximo nominal
Capa de ruedo	<19 mm
Capa intermedia o base	>19 mm

Con relación a los parámetros establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001 sección 401.06, la mezcla asfáltica debe cumplir una serie de requisitos según el método Marshall con el fin de proveer a la mezcla asfáltica características físicas y de resistencia adecuadas. A continuación se establecen los rangos admisibles según la metodología Marshall:

Tabla 6. Especificación de parámetros según el método Marshall

Parámetro		Especificaciones
Estabilidad		Mínimo 800 kg
Flujo		20 a 35 ¹ / ₁₀₀ cm
Vacíos en la mezcla		3% a 5%
Relación polvo/asfalto		0,6 a 1,3 %
Vacíos en agregado mineral (VAM)		Mínimo 13%
Vacíos llenos de asfalto (VFA)		
Tráfico en millones de ejes equivalentes	Inferior a 0,3 (liviano)	70% a 80%
	De 0,3 a 3 (medio)	65% a 78%
	Superior o igual a 3 (pesado)	65% a 75%

DESCRIPCIÓN DE TIPOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

Como parte de la Adenda No 6 se modifica para la ejecución la estructura de pavimento aprobada en las Adendas No 2 y No 3 para que en adelante sea utilizada la siguiente modulación:

- 13 cm de Carpeta Asfáltica donde 6,5 cm de la última capa llevará polímero UP-70.
- 24 cm Base Estabilizada con Cemento Portland BE-25.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 16 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



30 cm Subbase graduación D.

Adicionalmente, se menciona la incorporación del polímero UP-70 el cual menciona este documento tiene como función mejorar el desempeño de la mezcla asfáltica en los últimos 6,5 cm.

Por esta razón para el informe de auditoría técnica se asigna el término Mezcla Modificada a los primeros 5 cm de la estructura de la capa de rodamiento, la cual incluye en el diseño el polímero de tipo UP-70 y Mezcla Convencional a los restantes 6,5cm del espesor de la carpeta asfáltica que no incorpora el polímero en el diseño de la mezcla.

ACERO DE REFUERZO

La importación de barras de acero de refuerzo en Costa Rica está regulada por el Reglamento Técnico RTCR 452:2011 *Barras y Alambres de Acero de refuerzo para concreto. Especificaciones, No 37341-MEIC*. Los objetivos de este reglamento son establecer las características y especificaciones técnicas para las barras y alambres utilizadas como refuerzo de concreto, y garantizar que los productos de acero comercializados en el país cumplen con las características y especificaciones técnicas, a efecto de salvaguardar la vida y la integridad humana.

En el ámbito de aplicación de este reglamento se encuentran las barras y alambres de acero para construcciones, tales como barras de acero al carbono lisas y corrugadas de los grados 40 y 60; y las barras de acero de baja aleación lisas y corrugadas de grado 60. En todos los casos anteriores las barras tendrán muescas, cordones surcos o relieves después del laminado.

De acuerdo con este Reglamento, la evaluación de la conformidad se basa en el cumplimiento de las especificaciones técnicas definidas por las normas de INTECO, que a su vez son una homologación de normas ASTM.

Adicionalmente, este Reglamento en su apartado número ocho, especifica el "Procedimiento de Evaluación de la conformidad" que los productores nacionales y los importadores de barras de acero deben cumplir para la comercialización de este material, como por ejemplo, el Certificado de Conformidad del Producto, la Certificación de Conformidad por Lote y la Evaluación de la conformidad por inspección. En todos los casos anteriores se detallan las particularidades de cada uno de los procedimientos como los atestados de los entes capacitados para emitirlos.

Consecuentemente, es posible afirmar que existe un marco regulatorio para importación, comercialización y uso del acero en obras civiles, que en todo caso, debe ser acatado por proveedores y contratistas en general, y requerido por la Administración como parte de los controles de calidad de un proyecto.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 17 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



7. ANTECEDENTES

A manera de antecedentes del proyecto se describe a continuación una serie de procesos y comunicaciones que se mantuvieron con la Administración durante el desarrollo de este informe de auditoría técnica externa.

Como antecedentes en el tema de estudios geotécnicos, previo a este informe se tiene el informe de Auditoría Técnica LM-PI-AT-102-12 "Evaluación de los estudios geotécnicos preliminares", sobre este mismo proyecto Sifón-La Abundancia, que consistió en un estudio enfocado en el área geotécnica y en el cual, específicamente se realizó una revisión inicial sobre la suficiencia de los estudios geotécnicos preliminares con los que contaba el proyecto, así como la aplicación de un estudio de zonificación geotécnica, que permite la identificación de tramos críticos susceptibles a deslizamientos.

Adicionalmente, forman parte de este proceso de Auditoría Técnica los informes LM-PI-AT-014-15 en sus tres partes:

LM-PI-AT-014-15 (1/3): "Evaluación de los parámetros de desempeño (IRI, FWD, GRIP, APA Y FATIGA) del proyecto de Construcción de la Ruta Nacional No.35 Sección: Sifón-La Abundancia."

LM-PI-AT-014-15 (2/3): "Evaluación de los materiales granulares, base estabilizada y de la planta de producción y de mezcla asfáltica de la constructora Sánchez Carvajal de la Ruta Nacional No.35 Sección: Sifón-La Abundancia."

LM-PI-AT-014-15 (3/3): "Evaluación de las prácticas y procesos constructivos de la vía e inspección estructural de los puentes del proyecto de Construcción de la Ruta Nacional No.35 Sección: Sifón- La Abundancia".

A continuación se presenta la Tabla 7, donde se resumen las principales comunicaciones y oficios durante el periodo de la auditoría técnica.

Tabla 7. Resumen de correspondencia durante el proceso de auditoría técnica

Número de Oficio	Fecha	Asunto	Respuesta de la Administración
LM-AT-086-2016	06/03/2016	Espesores de pintura en las vigas del puente sobre el río Espino	Se realizó una reunión 19/04/2016
LM-AT-111-2016	14/06/2016	Inicio de Auditoría	Se realizó una reunión 19/04/2016
LM-AT-126-2016	22/07/2016	Solicitud diseños de mezcla de concreto	correo electrónico Ing. Abraham Sánchez (16/08/2016)
LM-AT-135-2016	18/08/2016	Informes de control y verificación de calidad	GCVP-PSC-28-16 31/08/2016
LM-AT-142-2016	23/08/2016	Resultados de ensayos de desempeños realizados a la MAC	correo electrónico Ing. Pablo Torres (20/09/2016)
LM-AT-151-2016	07/09/2016	Solicitud de diseño de MAC	correo electrónico Ing. Pablo Torres (20/09/2016)

A partir de Junio de 2016 se inició de manera continua un proceso de muestreo de materiales en el proyecto en cuestión el cual se prolongó hasta el mes de Noviembre, esto como parte del proceso de seguimiento de la auditoría técnica y en respuesta a la solicitud

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 18 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



del Ministro de Obras Públicas y Transporte enviada mediante correo electrónico al Director del LanammeUCR el día 04 de mayo de 2016, en respuesta se contesta con el oficio LM-IC-D-0346-16.

Durante este periodo se enviaron, de manera oportuna, a la ingeniería de calidad del proyecto mediante correo electrónico 50 reportes preliminares con resultados de ensayos de materiales.

8. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El contrato “Construcción de la Nueva Carretera a San Carlos, Sección Sifón-Ciudad Quesada -La Abundancia” inició su ejecución tal y como fue concebido originalmente desde que fuera refrendado por la Contraloría General de la República en junio del 2005 según lo indica el Addendum N°2 al contrato, firmado en abril del 2011. No obstante, desde el punto de vista político-administrativo, este proyecto ha experimentado diversos cambios como la ruptura de relaciones diplomáticas entre Costa Rica y la República de China en Taiwán (en junio del 2007) por lo que se dio la cesión del contrato a la empresa Constructora Sánchez Carvajal, así como cambios del personal responsable de la Unidad Ejecutora por parte del CONAVI.

El proyecto Sifón – Abundancia se ubica en los cantones de San Ramón y San Carlos, provincia de Alajuela, en la zona de paso intermontano entre la Gran Área Metropolitana (GAM) y la Zona Norte.

En la Figura 1 se observa que la ruta se ubica entre las rutas nacionales 141 (Naranjo – Zarcero – Ciudad Quesada) y 702 (San Ramón – Bajo Rodríguez), que actualmente son las principales vías de acceso al cantón San Carlos.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 19 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------

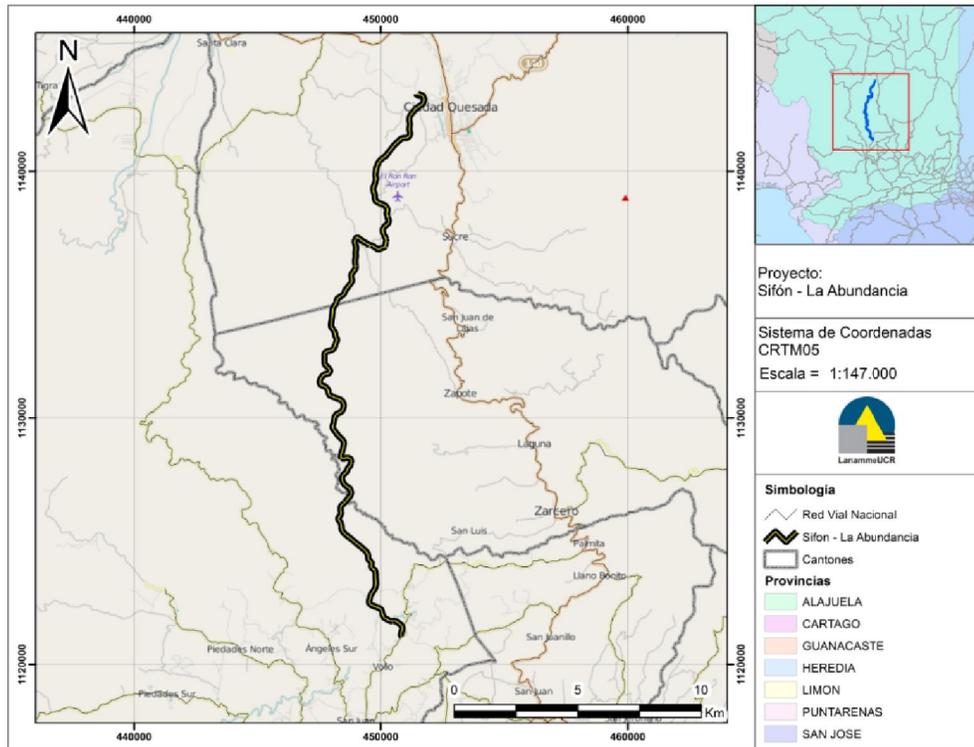


Figura 1. Localización del proyecto.

En la cláusula 2 de la Adenda No 6, se modifica la ejecución de la estructura del pavimento aprobada en la Adenda No 2 y No 3 para que en adelante se utilice la siguiente modulación (ver Tabla 8). También en la Adenda 6 se incorporan el reglón de pago de Base Estabilizada con cemento portland tipo BE-25 y el polímero UP-70 para la mezcla asfáltica.

Tabla 8. Sección típica eje principal del proyecto

Estructura de pavimento	Espesor (cm)
Carpeta asfáltica donde 6,5 cm de la última capa llevará polímero UP-70	13
Base estabilizada con cemento portland BE-25	24
Subbase graduación D	30

8.1. MARCO CONCEPTUAL

Valoración Estadística de la Calidad del Trabajo Realizado.

La aplicación de herramientas estadísticas para el análisis de los ensayos de calidad es una actividad fundamental en cualquier proceso productivo, para predecir el nivel de calidad del producto, corregir y prevenir desviaciones y mejorar la eficiencia y eficacia del proceso de producción. Las herramientas estadísticas de control de procesos evalúan no sólo los resultados fuera de los límites de especificación, sino también la variabilidad del proceso, la

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 20 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



cual puede aumentar la probabilidad de que la totalidad del producto no cumpla con el nivel de calidad establecido por las especificaciones como resultado de la variabilidad inherente del proceso.

La valoración estadística y de pago en función de la calidad se evalúa con el propósito de aportar elementos que permitan la interpretación de los ensayos y acrecentar la calidad de los productos que se utilizan en las labores de construcción de infraestructura vial. Con los resultados de las muestras analizadas se realiza una evaluación estadística de los resultados de los materiales obtenidos, en este caso el especificado para la subbase, base estabilizada, concreto y mezcla asfáltica. Para ello se aplica el procedimiento establecido en la sección 7.04 del MC-2002 “Método de análisis de nivel de calidad, desviación estándar y determinación del factor de pago” y el apartado D de su anexo; asimismo, en cuanto a las características de calidad para cada uno de los materiales que se evalúan mediante el método estadístico, resulta de aplicación el “Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2002”, por lo cual se instituye documento complementario del MC-2002 conformando el marco técnico de especificaciones. A partir de la aprobación de las Adendas N° 6 y N°7 donde se indica que el Manual de construcción para caminos, carreteras y puentes (MC-2002) constituye un antecedente para dicha adenda, el cual se tiene como parte integral del mismo y por ende resulta de obligatorio acatamiento para las partes.

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

Los índices de calidad se calculan para cada uno de los ensayos que se van a analizar, luego se obtiene para cada uno el porcentaje de datos fuera de los límites de especificación (PT), aplicando el MC-2002. El porcentaje fuera de los límites de especificación es una estimación del porcentaje de la totalidad del producto que podría encontrarse fuera de los rangos de especificación para las muestras o periodo analizado (lote).

Aspectos relacionados con la resistencia a la compresión de la base estabilizada BE-25

A manera de antecedente cabe recalcar que el criterio del LanammeUCR en cuanto a lo descrito en la sección 308 “Base Estabilizada con Cemento Portland” del CR-77, queda expresado en el oficio LM-PI-044-12 emitido el 07 de mayo de 2012 al Director Ejecutivo de CONAVI en función, Ing. José Luis Salas Quesada y más reciente en el oficio LM-IC-D-0413-15, enviado el 21 de mayo del 2015 al señor Ministro de Obras Públicas y Transportes (MOPT) en ese periodo, Lic. Carlos Segnini Villalobos; con respecto a la especificación de un límite superior en bases estabilizadas con cemento.

En estos documentos se expresa que de acuerdo con lo establecido en la sección del CR-77 antes mencionada, se establece que la totalidad de los resultados de ensayo de resistencia a la compresión de bases estabilizadas BE-25 ensayadas, deben mostrar un valor promedio de 30 kg/cm², sin que se obtenga valores menores a 21 kg/cm². Acá cabe destacar una de las principales confusiones de esta norma ya que no se indica explícitamente un valor de

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 21 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



límite superior para la especificación, por lo que el objetivo de dicho oficio es aclarar la posición del LanammeUCR en cuanto a la interpretación de las especificaciones dadas en el CR-77.

Pese a no expresarse claramente en la especificación un límite superior, con herramientas estadísticas elementales es posible inferir, a partir de los límites anteriormente indicados, un valor máximo y una desviación estándar asociada que permita cumplir simultáneamente ambos requisitos de resistencia a la compresión de bases estabilizadas con cemento.

Por ejemplo, utilizando la metodología del apartado 7.04 del MC-2002 “Método de análisis de nivel de calidad, desviación estándar y determinación del factor de pago”, se puede calcular la desviación estándar máxima aceptable para una muestra dada, que de manera simultánea cumpla con los valores de resistencia mínima y resistencia promedio (21 y 30 kg/cm² respectivamente).

Este tipo de metodología se utilizó en el análisis de los resultados obtenidos en el presente informe de auditoría (LM-AT-0170B-16), donde se obtuvo un valor máximo de resistencia a la compresión para bases estabilizadas BE-25 de 39 kg/cm², y a partir de este dato se definió el cumplimiento de la especificación del CR-77.

Para calcular mediante inferencia estadística la desviación estándar máxima aceptable para una muestra dada (que para este caso asume 30 muestras, una por cada día de colocación de base estabilizada en un mes), que de manera simultánea cumpla con los valores de resistencia mínima y resistencia promedio (21 y 30 kg/cm² respectivamente).

Cabe destacar que el análisis propuesto parte de que los datos se comportarán de acuerdo con una distribución normal, lo que permite inferir un límite máximo aceptable, que aunque no esté especificado de forma explícita, es conocido que debe controlarse debido a los problemas de fisuración por contracción que pueden tener las bases estabilizadas con cemento. No es recomendable dar a la capa de base estabilizada un exceso de resistencia, debido a que al ser tan rígida, se vuelve muy susceptible al agrietamiento, con la consecuencia de que las grietas que se forman se reflejarán en las capas que se colocarán sobre la base.

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

Tabla 9. Tipos de agrietamiento asociados a la resistencia a la compresión a los 7 días.

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

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

Fuente: Arce, 2011.

El agrietamiento de la base estabilizada, especialmente a un nivel igual o inferior al aquí señalado como moderado, no afecta negativamente, ni la vida útil ni el desempeño a largo

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 22 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



plazo de la estructura del pavimento, siempre y cuando el diseño en laboratorio así como el proceso constructivo y de control de calidad de la base se haya ejecutado correctamente. Desde luego se supone que el diseño estructural y el mantenimiento del pavimento se realizan de forma adecuada.

Es importante, durante la formulación del diseño, realizar un adecuado diseño de la base estabilizada para encontrar el porcentaje óptimo de cemento que se le debe agregar al material a estabilizar, de manera que se pueda alcanzar la resistencia requerida con el mínimo cemento posible, para así maximizar el uso de los recursos.

En bases estabilizadas el objetivo es tener un diseño de mezcla balanceado, en donde el cemento que se utiliza (que está asociado al valor de resistencia a la compresión a alcanzar) sea suficiente para que la base estabilizada resultante sea resistente, durable y relativamente impermeable, pero no tanto como para que genere otros tipos de deterioros en el pavimento, esto de acuerdo con la Guía de Bases Tratadas con Cemento (CTB) de la PCA (Portland Cement Association). (Halsted, Luhr, & Adaska, 2006)

También es importante señalar que el control de la calidad y aceptación de la resistencia a la compresión de la base estabilizada debe hacerse única y exclusivamente tal como está establecido en la documentación contractual (CR-77), con los resultados del ensayo AASTHO T-134 “Método estándar de ensayo para las relaciones humedad densidad de las mezclas suelo cemento” (según CR-77), que establece claramente que los especímenes de ensayo se preparan mediante moldeo Próctor Estándar compactado al 100% de la densidad máxima para un tiempo de curado de 7 días.

Sin bien es cierto los datos de falla de núcleos se pueden utilizar para revisiones, comparaciones o verificaciones de los resultados y el estado del proyecto en general, estos no deberán ser utilizados como base de aceptación y pago, ya que el único medio para obtener la resistencia para pago es mediante los ensayos indicados anteriormente, con especímenes característicos con una edad de resistencia ya definida por la especificación.

9. AUDIENCIA DE LA PARTE AUDITADA

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-01-17 del 10 de enero de 2017 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-170B-16, a la parte auditada para que sea analizado y de requerirse, se proceda a esclarecer aspectos que no hayan sido considerados durante el proceso de ejecución de la auditoría, por lo que se otorga un plazo de 15 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe para el envío de comentarios al informe preliminar.

Posterior al envío del informe preliminar se le brinda audiencia a la parte auditada para que se refiera al informe preliminar, el día 26 de enero a las 9:00am en las instalaciones del LanammeUCR en donde se realizó la presentación del informe LM-PI-AT-170B-16 en su versión preliminar y en la que participaron los ingenieros Ing. Abraham Sanchez Castro ingeniero de la Unidad Ejecutora del proyecto, Ing. Pablo Contreras Vásquez de la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes de CONAVI, por parte de la Auditoría Interna de CONAVI

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 23 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



se encontraban Ing. Jeyfer Martínez Blanco y Lic. Reynaldo Vargas. También se presentaron en representación de la empresa constructora Sanchez Carvajal S.A. los ingenieros Carlos Marín y Mario Marín, asistió a la reunión el Ing. Diego González de la empresa O.J.M Consultores. Así como los auditores encargados del informe Ing. Erick Acosta, Ing. Victor Cervantes y la Ing. Ana Elena Hidalgo, la coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica-PITRA LanammeUCR, Ing. Wendy Sequeira Rojas.

Una vez realizada la presentación se emiten varias comunicaciones a la Administración mediante correo electrónico a manera de recordatorio, esto con el objetivo de contar con toda la información necesaria para emitir la versión final del informe, a saber el día 13 de febrero se envía un recordatorio al Ing. Abraham Sanchez y el día 16 de febrero al Ing. Pablo Contreras. Este último responde el día 19 de febrero solicitando 2 semanas adicionales (03 de marzo de 2017), para realizar el pronunciamiento, argumentando que no se cuenta con los servicios del ingeniero Pablo Torres, responsable de estos temas. Mediante correos electrónicos de fecha 22 de febrero y 3 de marzo de 2017, el Ing. Sánchez envía documentación relacionada con el informe.

Por lo tanto, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, una vez analizados los documentos aportados por la parte auditada y considerando la evidencia presentada se procede a emitir el informe LM-PI-AT-170-16 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley.

10. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

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

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

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

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

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 24 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



10.1. SOBRE LA CALIDAD DEL MATERIAL GRANULAR PARA LA CAPA DE SUBBASE

Para desarrollar esta sección del informe se toma como base los documentos contractuales como Órdenes de Servicio y Órdenes de Modificación y Adendas; además la sección 7.04 "Método de análisis de nivel de calidad-desviación estándar y determinación del factor de pago" del MC-2002, tal como se especifica en el apartado 8.1, ya que en estos documentos se describe de forma detallada el proceso que debe seguir tanto la Administración como el contratista para asegurar la calidad de los materiales del proyecto en pro del buen desarrollo del mismo y su desempeño en el futuro.

Hallazgo N° 1: Los resultados de las muestras ensayadas por el LanammeUCR y el laboratorio de verificación de calidad para el material de subbase presentan valores que no satisfacen el porcentaje permitido en la especificación para la malla No 4.

El laboratorio del LanammeUCR, realizó muestreos al material de granular de Junio a Noviembre de 2016, analizando la granulometría, límites de consistencia y CBR de tres muestras las cuales se indican a continuación:

Tabla 10. Resumen de resultados de muestras de material granular analizadas por el LanammeUCR.

Información General				Granulometría				Plasticidad		Próctor		CBR	
Informe	Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	37.5 mm	4,75 mm	0,43 mm	75 µm	LL	IP	Humedad óptima %	Densidad Máxima (kg/m ³)	al 95%	
Límite Inferior				100	40	10	5	-	-			30%	
Límite Superior				100	100	70	35	30%	7%			0,1"	0,2"
I-1099-16	M-1442-16	17+500	16/06/2016	100	38,9	20,1	13,8	27	4	8,09	2139	57,5	69,7
I-1099-16	M-1897-16	17+950	04/08/2016	100	39,0	16,0	10,0	25	3	10,7	2124	17,2	37,1
I-1181-16	M-1946-16	Planta	09/08/2016	100	44,5	-	9,44	NP	NP	7,8	2297	126	173

:- No se cuenta con el resultado

Tal y como se puede observar en la tabla anterior, solamente se cuenta con tres muestras de subbase granular por lo que no se puede realizar un análisis estadístico, sin embargo de la tabla de resultados se puede observar que la distribución granulométrica de las muestras presenta en la malla No 4 valores por debajo del límite inferior indicado en la especificación (Ver Figura 2). Para los datos de CBR todo se encuentran por encima del valor especificado de 30%, en el caso de plasticidad y límite líquido los valores se encuentran dentro de los límites especificados.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 25 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------

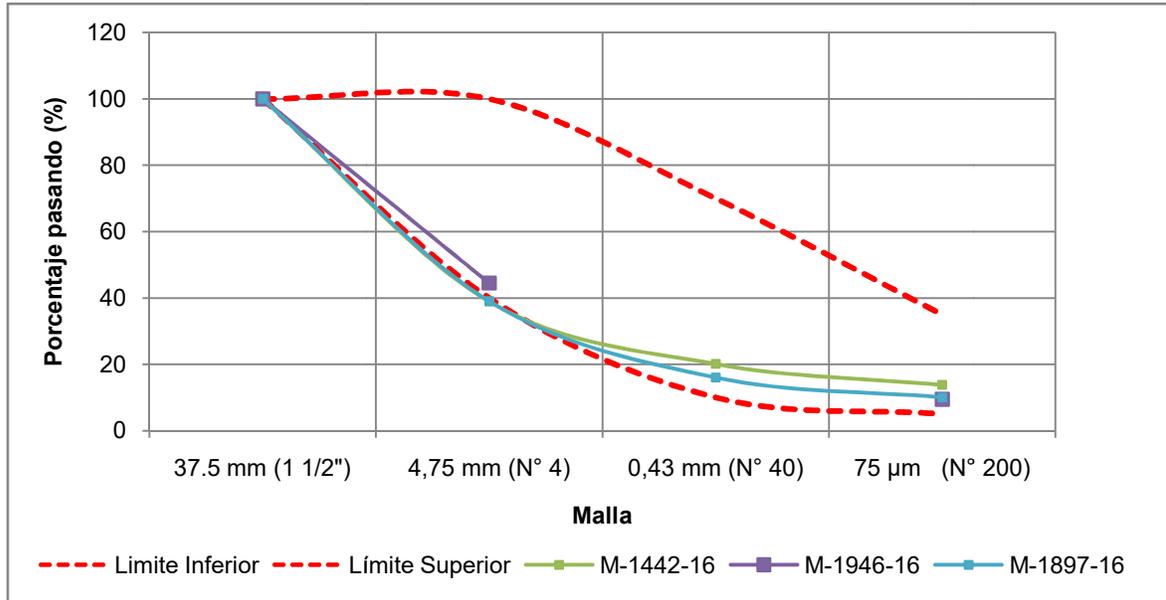


Figura 2. Curvas granulométricas de muestras de sub base granular ensayadas por el LanammeUCR.

Adicionalmente se realizó un análisis por tamices, para observar con mayor detalle cada uno de los resultados obtenidos por muestra.

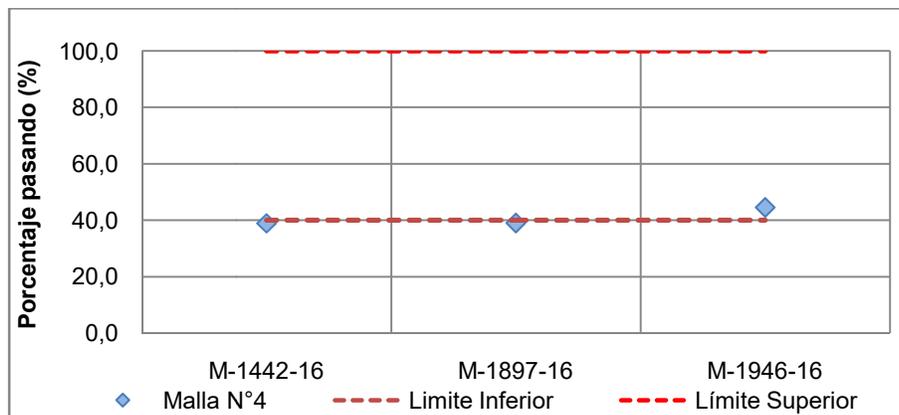


Figura 3. Resultados de las muestras de sub base para la malla No 4, LanammeUCR.

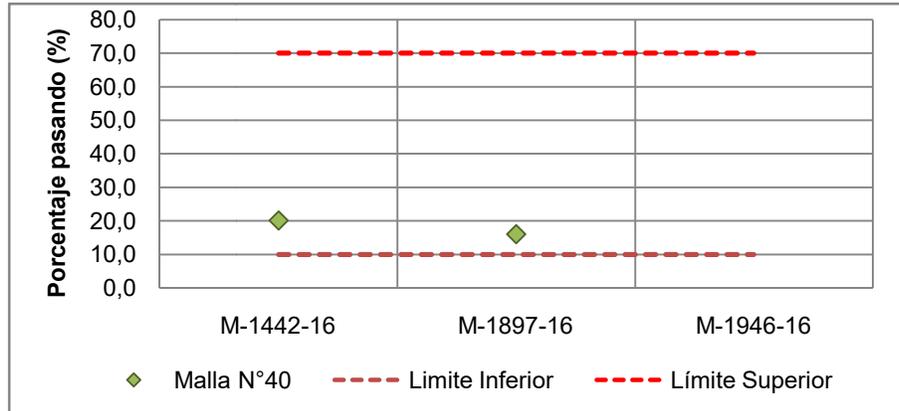


Figura 4. Resultados de las muestras de sub base para la malla No 40, LanammeUCR.

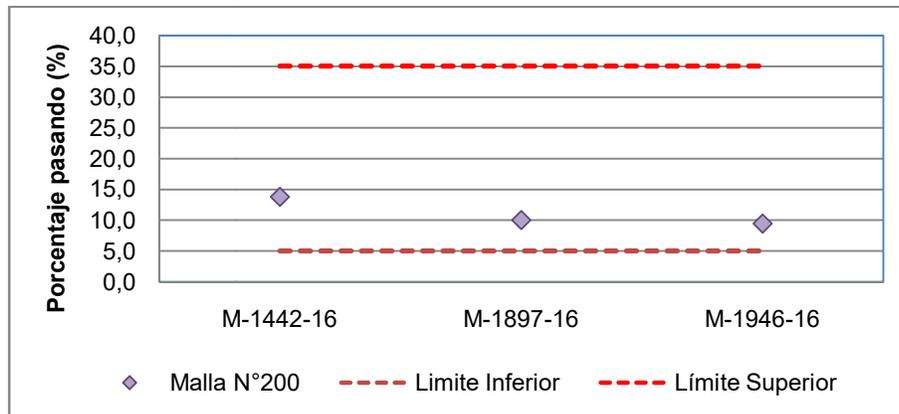


Figura 5. Resultados de las muestras de sub base para la malla No 200, LanammeUCR.



Tal y como se puede observar en la Figura 3, dos de las tres muestras analizadas se encuentran por debajo del límite inferior especificado. A través del oficio LM-AT-135-16 de agosto de 2016, se le solicita a la Ingeniería de Proyecto los informes de control de calidad a cargo del contratista y de la verificación de calidad, en el oficio GCVP-PSC-28-16-615 la Administración envía a esta Auditoría Técnica los informes de la verificación de calidad del laboratorio LGC Ingeniería de Pavimentos S.A, un resumen de estos resultados se presenta en la Tabla 10.

Tabla 11. Resumen de resultados de muestras de material granular analizadas por LGC.

Información General				Granulometría				Plasticidad		Próctor		CBR	
Informe	Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	75 mm	4,75 mm	0,43 mm	75 µm	LL	IP	Humedad óptima %	Densidad Máxima (kg/m ³)	al 95%	
Límite Inferior				100	40	10	5	-	-			30%	
Límite Superior				100	100	70	35	30%	7%			0,1"	0,2"
0744-2016	01-10922-16	17+400	27/05/2016	100	44,0	20,0	13,1	26	2	-	-	-	-
0744-2016	01-12102-16	17+500	06/10/2016	100	33,0	15,0	9,7	NP	NP	-	-	-	-
0744-2016	01-12452-16	14+550	16/06/2016	100	29,0	11,0	8,2	NP	NP	-	-	-	-
0857-2016	01-14223-16	18+050	05/07/2016	100	25,0	12,0	7,9	26	6	-	-	-	-
0857-2016	01-14743-16	Apilamiento	13/07/2016	100	25,0	13,0	7,9	27	7	7,1	2083	78	94
0857-2016	01-14748-16	Apilamiento	13/07/2016	100	30,0	10,0	4,7	29	6	8	2200	80	93

:- No se reporta el valor

En los meses de mayo a julio de 2016 el laboratorio de verificación de calidad ensayó 6 muestras de material granular, las cuales se presentan en la Tabla 10. Con estos datos esta Auditoría Técnica realiza un análisis estadístico utilizando como base la sección 7.04 "Método de análisis de nivel de calidad-desviación estándar y determinación del factor de pago" del MC-2002. Adicionalmente, de la tabla de resultados se puede observar que la distribución granulométrica de las muestras presenta en la malla No 4 valores por debajo del límite inferior indicado en la especificación (Ver Figura 7), mostrando un comportamiento similar que los datos analizados por LanammeUCR. Para los datos de CBR todos se encuentran por encima del valor especificado de 30%, en el caso de plasticidad y límite líquido los valores se encuentran dentro de los límites especificados.

Tabla 12. Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el laboratorio LGC, para subbase.

Parámetro	Categoría	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)*
3" (75mm)	I	6	0,0	57
No 4 (4,75 mm)	I	6	87	57
No 40 (0,43mm)	I	6	19	57
No 200	II	6	12	62

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 28 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Del análisis estadístico utilizando como fundamento normativo el Capítulo 7 del MC-2002, se puede observar que la distribución granulométrica de las muestras no se encuentra dentro de los límites indicados en la especificación. Para este material se obtiene un porcentaje fuera de los límites establecidos de 0,0% en la malla 3". En el caso de la malla N° 4 se obtiene un valor de 87,0% fuera de los límites y en el caso de la malla N°40 y N°200 de 19,0% y 12,0%, respectivamente.

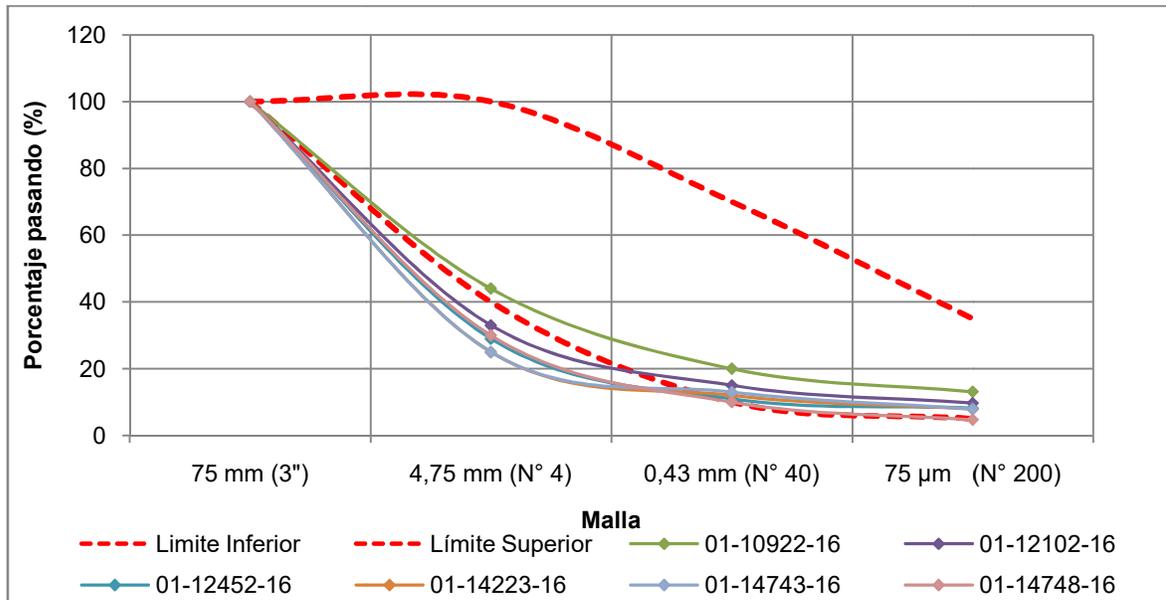


Figura 6. Curvas granulométricas de muestras de sub base granular ensayadas por el LGC.

A continuación se muestra un análisis por tamices, para observar con mayor detalle cada uno de los resultados obtenidos por muestra.

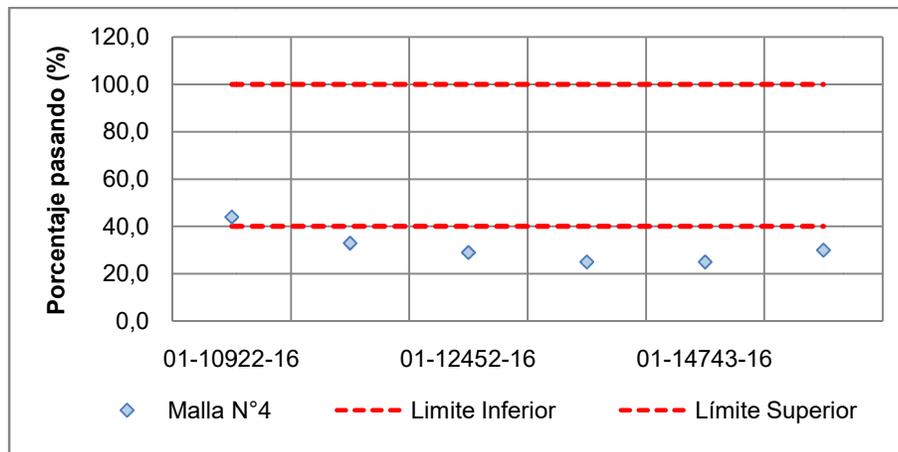


Figura 7. Resultados de las muestras de sub base para la malla No 4, LGC.

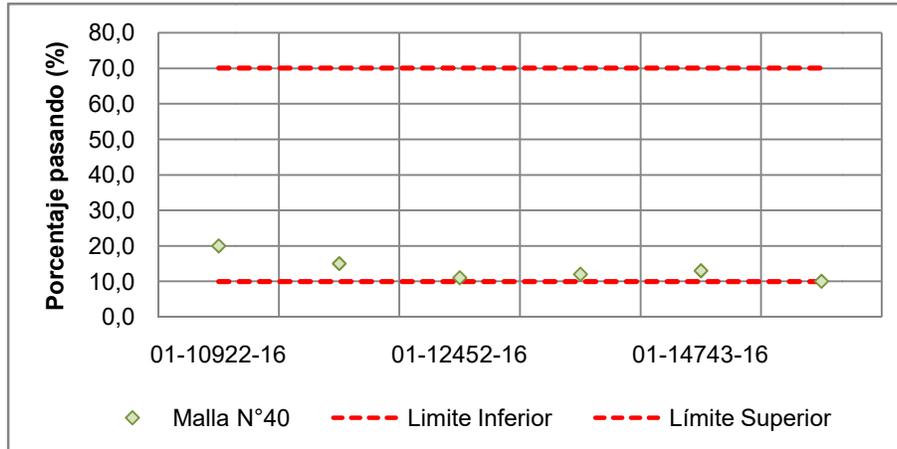


Figura 8. Resultados de las muestras de sub base para la malla No 40, LGC.

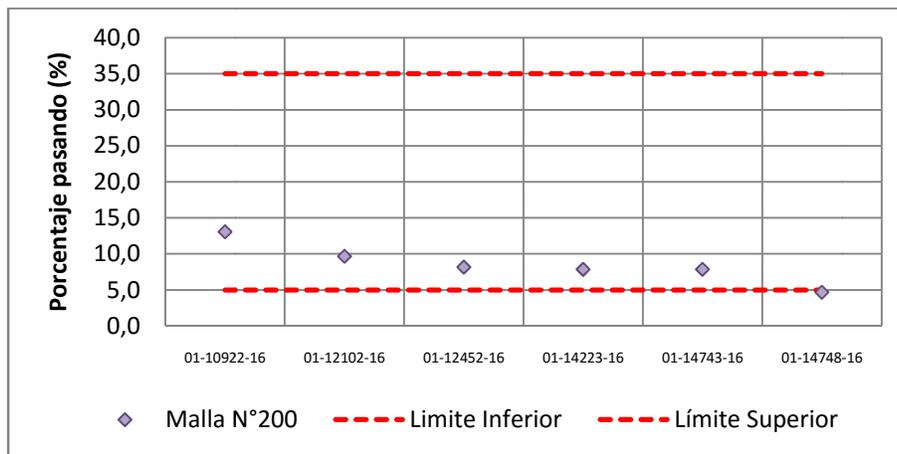


Figura 9. Resultados de las muestras de sub base para la malla No200, LGC.

Si se observa la Figura 7, al igual que en el caso de los datos del LanammeUCR, los valores del porcentaje pasando la malla N°4 se encuentran por debajo del límites inferior especificado.

Llama la atención a esta Auditoría Técnica los resultados presentados anteriormente, ya que en el Informe LM-AT-014-15 (Parte 2/3) en el hallazgo No 9, se evidenció que los resultados de las muestras ensayadas por el LanammeUCR y el laboratorio de control de calidad para el material de subbase cumplían con las especificaciones establecidas en el MC-2002, incluyendo la Malla No 4.

Por lo tanto, Auditoría Técnica evidencia que el material granular para las subbase presenta valores por debajo del porcentaje inferior permitido de la especificación técnica en la malla No 4, esto podría ocasionar que el material no se comporte correctamente con el paso del tiempo y que el desempeño del proyecto se vea afectado. Es por lo tanto importante velar por la correcta aplicación de herramientas estadísticas para evaluar tanto el cumplimiento de especificaciones como la variabilidad de los procesos de producción de materiales que se incorporan a este proyecto.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 30 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



10.2. SOBRE LA CALIDAD DEL MATERIAL DE BASE ESTABILIZADA TIPO BE-25 DEL PROYECTO.

Observación N° 1: La resistencia a la compresión de los cilindros de base estabilizada BE-25 presentan en general valores de resistencia mayores al valor promedio de 30 kg/cm² establecido en la especificación del CR-77 tanto en las muestras analizadas por el LanammeUCR, como por la verificación de calidad.

Para realizar este análisis se presentan datos de muestras tomadas desde Julio a Noviembre de 2016 y se comparan con los datos presentados en el Informe LM-PI-AT-014-15 (Parte 2/3), con el fin de establecer un indicador sobre la gestión del control de calidad del material durante la ejecución de la obra. En la Tabla 12 se muestran los porcentajes fuera de los límites especificados obtenidos para las muestras ensayadas en dicho informe, utilizando como límite inferior 21 kg/cm² y como límite superior el valor de 39 kg/cm² inferido estadísticamente para los datos de resistencia a la compresión de base estabilizada (BE-25), y en la Figura 10 se observa de manera gráfica los resultados de las muestras analizadas con respecto a los límites de la especificación.

Tabla 13. Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por el LanammeUCR de cilindros de base estabilizada, presentado en el informe LM-PI-AT-014-15.

Parámetro	Categoría	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje permitido fuera de los límites de especificación (%)*
BE-25	II	21	98,0	44,0

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote

Tal y como se puede observar, el porcentaje estimado de datos fuera de los límites de la especificación es de 98,0% para un total de 21 muestras analizadas, este porcentaje es mayor al máximo permitido por la especificación, el cual tiene un valor de 44,0%.

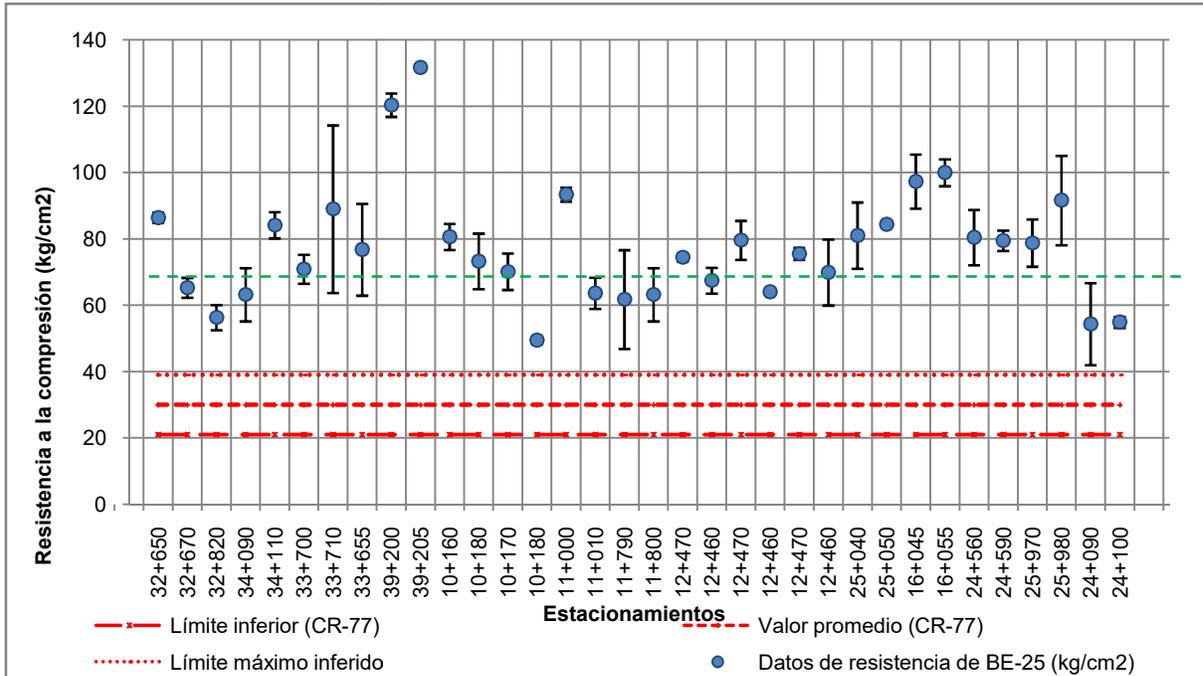


Figura 10. Resistencia a la compresión de cilindros de BE-25 ensayados por LanammeUCR, presentado en el informe LM-PI-AT-014-15.

Tal y como se puede observar en la Figura 10 los valores de resistencia a la compresión de los cilindros de base estabilizada de las muestras analizadas en dicho informe mostraban valores muy por encima de lo requerido por la especificación, determinando que el valor promedio de los datos analizados era de 77,4 kg/cm², lo que evidencia una alta variabilidad y un valor promedio de resistencia a la compresión mucho mayor al especificado en el CR-77.

Para el caso de las pastillas de base estabilizada BE-25 ensayadas durante el periodo de Julio a Noviembre de 2016, se muestra en la Tabla 13 los porcentajes fuera de los límites especificados, utilizando como límite inferior 21 kg/cm² y como límite superior el valor de 39 kg/cm² inferido estadísticamente para los datos de resistencia a la compresión de base estabilizada (BE-25), y en la Figura 11 se observa de manera gráfica los resultados de las muestras analizadas con respecto a los límites de la especificación.

Tabla 14. Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el LanammeUCR de cilindros de base estabilizada, analizados en Julio a Septiembre 2016.

Parámetro	Categoría	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje permitido fuera de los límites de especificación (%)*
BE-25	II	15	100,0	51,0

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote.

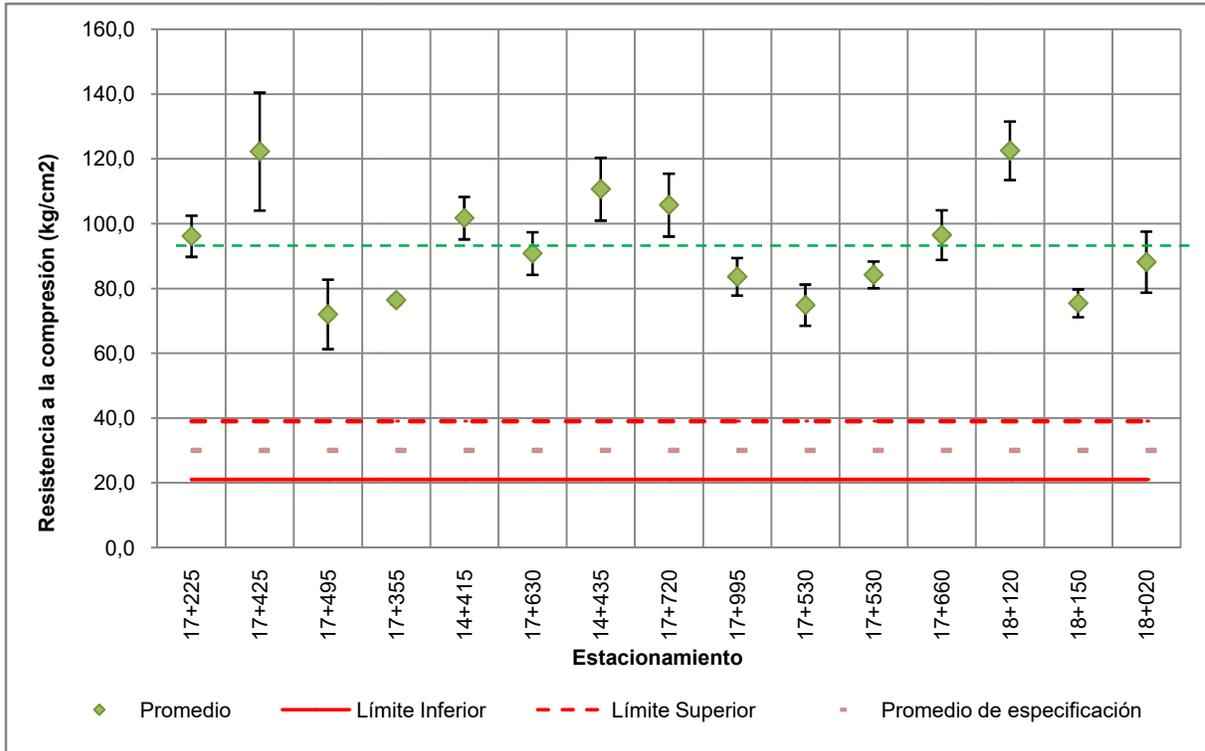


Figura 11. Resistencia a la compresión de cilindros de BE-25 ensayados por LanammeUCR, analizados de Julio a Septiembre de 2016.

En este caso para los valores de resistencia a la compresión de los cilindros de base estabilizada, el valor promedio de los datos analizados es de 93,4 kg/cm², al igual que en el año 2015 deja en evidencia una alta variabilidad del proceso de producción de la base estabilizada y un valor promedio de resistencia a la compresión mayor al del año 2015 y al especificado en el CR-77. Además, en la Figura 12 se puede observar la frecuencia acumulada de los datos de resistencia a la compresión tanto de 2015 como de 2016, en este gráfico se compara la población total de las muestras ensayadas con los valores de límite inferior (21 kg/cm²), valor promedio (30 kg/cm²) de la especificación y límite superior inferido (39 kg/cm²) y tal y como se observa la totalidad de los datos se encuentra desplazados hacia la derecha de los límites, lo que indican valores superiores a los especificados. Inclusive se puede establecer que el 50% de los valores de resistencia a la compresión de la base estabilizada son mayores a 80 kg/cm² llegando a valores cercanos a 130 kg/cm².

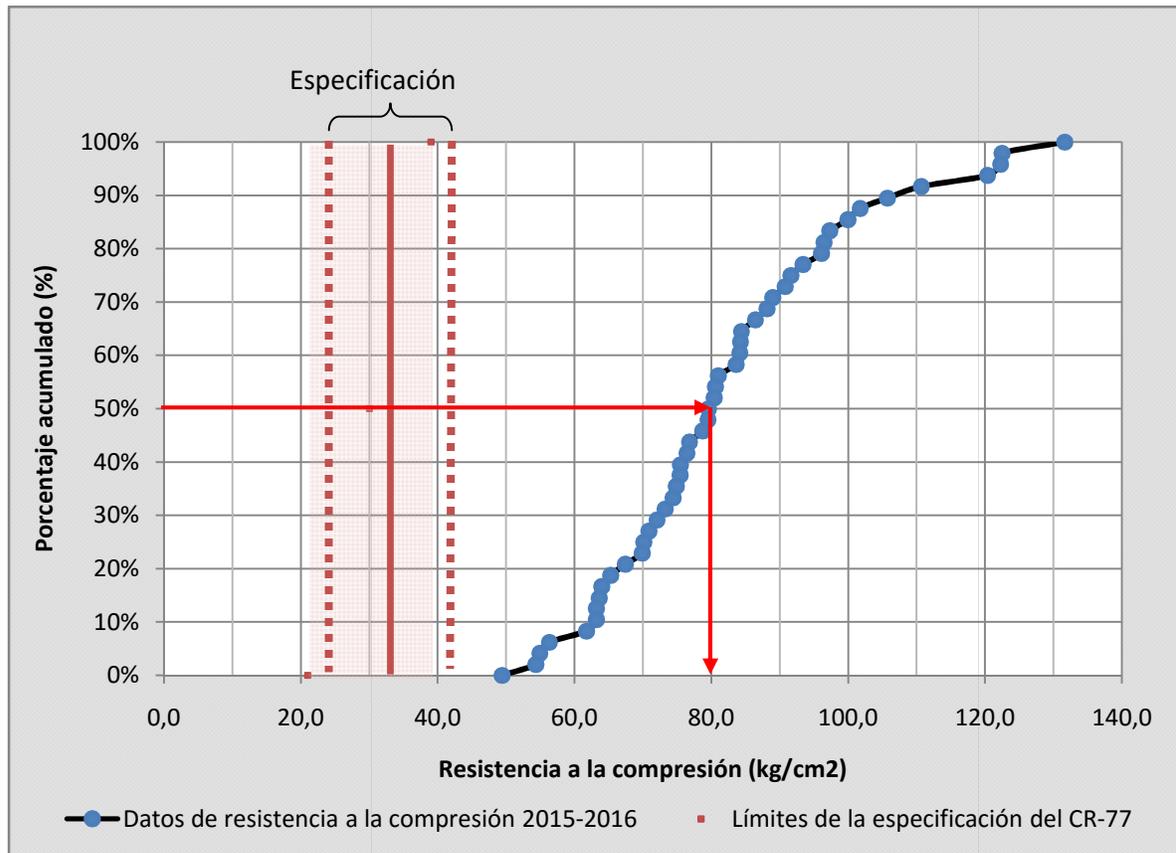


Figura 12. Curva S con los datos de resistencia a la compresión de cilindros de BE-25 ensayados por LanammeUCR, en el 2015 y 2016.

Por otra parte, se realizó el análisis a los datos del laboratorio de Verificación de Calidad. A continuación, se puede observar en la Tabla 14 el porcentaje fuera de los límites (especificados y el valor de resistencia máxima inferido) para los datos de resistencia a la compresión de base estabilizada (BE-25) y en la Figura 13 se observa de manera gráfica las muestras analizadas con respecto a los límites.



Tabla 15. Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el LanammeUCR de cilindros de base estabilizada, analizados en Julio a Septiembre 2016.

Parámetro	Categoría	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje permitido fuera de los límites de especificación (%)*
BE-25	II	21	100,0	49,0

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote.

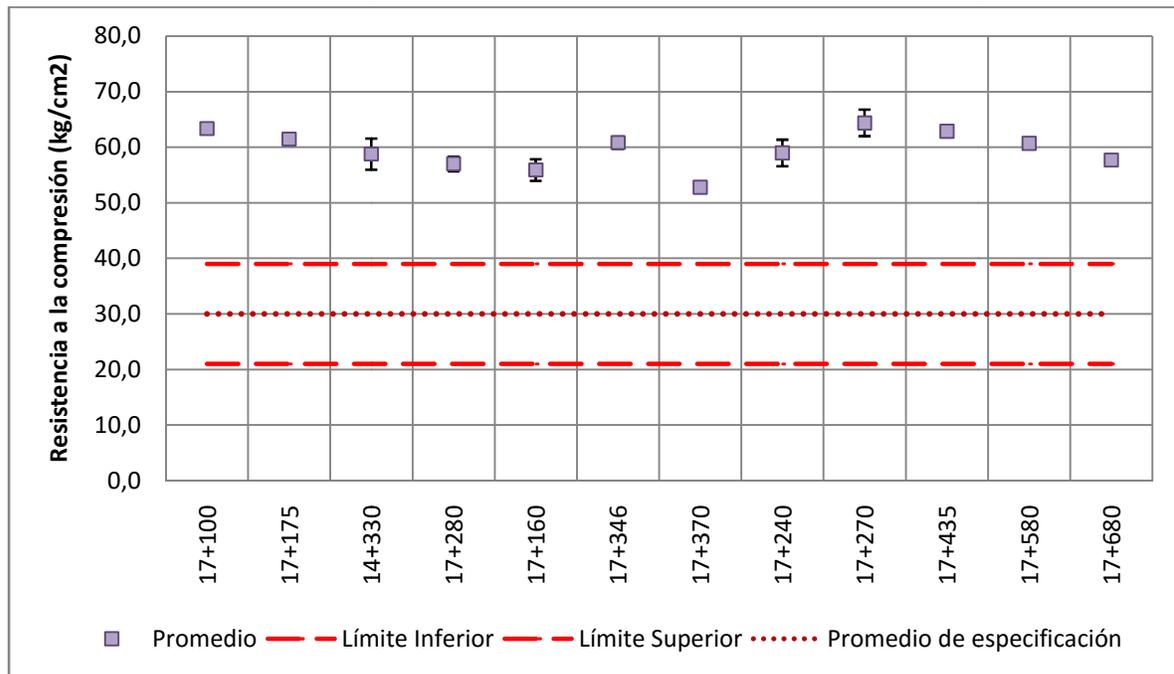


Figura 13. Resistencia a la compresión de cilindros de BE-25 ensayados por LGC.

Tal y como se puede observar en la figura anterior, los valores de resistencia a la compresión de los cilindros de base estabilizada, tienen un promedio de 59,6 kg/cm², valor promedio mayor al que se indica en la especificación del CR-77 de 30 kg/cm² y también es mayor al máximo que se puede inferir estadísticamente como límite superior (39 kg/cm²).

De los conjuntos de datos analizados en el periodo de estudio, tanto del LanammeUCR como de la Verificación de Calidad se puede evidenciar que la resistencia a compresión de los cilindros de Base Estabilizada del proyecto presentan un valor promedio mayor al valor establecido en la especificación del CR-77 de 30 kg/cm², lo que podría provocar problemas de desempeño del proyecto.

No es recomendable dar a la capa de base estabilizada una alta resistencia a la compresión, debido a que con una rigidez excesiva, se vuelve susceptible al agrietamiento, con la consecuencia de que las grietas se reflejarán en las capas de mezcla asfáltica colocadas

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 35 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



sobre la base. Por otro lado, podría afectar su desempeño si se presenta agrietamientos descontrolados y prematuros importantes por lo que se vuelve necesario el control, tanto de cumplimiento de resistencia promedio, como de resistencias máximas.

Llama la atención a esta auditoría que no se evidencie una reducción en los valores de resistencia de la base estabilizada con respecto a los resultados de 2015, a pesar de que en el informe LM-PI-AT-014-15 se había alertado sobre lo contraproducente que puede ser esta situación en el proyecto, ya que resistencias en este orden de magnitud podrían generar agrietamiento en dicha capa, lo cual podría afectar a su vez las capas de mezcla asfáltica mediante el reflejo de estas grietas

10.3. SOBRE LA CALIDAD DEL ACERO DE REFUERZO

Hallazgo N° 2: Las varillas N° 6 y N° 7 muestreadas por el LanammeUCR no cumplen la altura mínima promedio de corrugación expresada en la Norma ASTM A706.

El laboratorio del LanammeUCR, realizó un muestreo de varillas de acero estructural del proyecto en cuestión el 22 de junio de 2016, se muestrearon tres secciones de varillas de 1,5m de longitud de los diferentes diámetros utilizados en el proyecto, y en la Tabla 15 se presenta el desglose de las muestras.

En el informe de ensayo I-0892-16 del LanammeUCR, se obtuvo como resultado que las muestras ensayadas cumplieron satisfactoriamente con los requisitos físicos y mecánicos del Reglamento Técnico RTCR 452:2011 "Barras y Alambres de Acero de refuerzo para concreto", a excepción de la altura mínima de corrugaciones, esto para las tres muestras ensayadas de las varillas N°6 y N°7. Cabe recordar que el Reglamento RCTR 452:2011 hace referencia a la norma INTE 06-09-02, la cual es una homologación de la norma ASTM A706 y A615 donde se indican las especificaciones técnicas de las barras utilizadas como refuerzo para el concreto reforzado.

Tabla 16. Identificación de muestras de acero obtenidas por el Lanamme UCR (22/06/2016)

Muestra	Número	Altura de corrugación (mm)	Altura de corrugación mínima de la Norma ASTM A706 (mm)	Cumplimiento según norma ASTM A706
M-1502-16	Varillas de acero N° 3	0,59 0,50 0,59	0,38	Cumple Cumple Cumple
M-1503-16	Varillas de acero N° 4	0,70 0,61 0,65	0,51	Cumple Cumple Cumple
M-1504-16	Varillas de acero N° 5	0,73 0,74 0,75	0,71	Cumple Cumple Cumple
M-1505-16	Varillas de acero N° 6	0,91 0,86 0,81	0,97	No Cumple No Cumple No Cumple
M-1506-16	Varillas de acero N° 7	1,10 1,03	1,12	No Cumple No Cumple

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 36 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Muestra	Número	Altura de corrugación (mm)	Altura de corrugación mínima de la Norma ASTM A706 (mm)	Cumplimiento según norma ASTM A706
		0,95		No Cumple
M-1507-16	Varillas de acero N° 8	1,44 1,43 1,51	1,27	Cumple Cumple Cumple
M-1508-16	Varillas de acero N° 9	1,44 1,46 1,61	1,42	Cumple Cumple Cumple
M-1509-16	Varillas de acero N° 10	1,64 1,82 1,83	1,63	Cumple Cumple Cumple
M-1510-16	Varillas de acero N° 10	2,28 2,05 2,00	1,63	Cumple Cumple Cumple

A continuación se describe las muestras que presentan problemas de incumplimiento con la normativa mencionada.

En el caso de la muestra M-1505-16, correspondiente a las varillas de acero N° 6: AM 6 W CR, se presentó un incumplimiento de las 3 muestras con respecto a la altura de corrugación, la cual debe de ser de mínimo de 0,97mm, de acuerdo a la norma ASTM A706.

La muestra M-1506-16, correspondiente a las varillas de acero N° 7: AM 7 W CR, se presentó un incumplimiento de las 3 muestras con respecto a la altura de corrugación, la cual debe de ser mínimo de 1,12 mm de acuerdo a la norma ASTM A706.

Debido a que se realizó solo un muestreo no se pudo realizar un análisis estadístico que permita establecer un patrón en los datos. Los incumplimientos de las corrugaciones pueden tener implicaciones importantes en el comportamiento del concreto reforzado, que adquieren un carácter de más importancia en el caso de obras de mayor magnitud y funcionalidad, como lo pueden ser los puentes y fundaciones de este proyecto.

Las corrugaciones en las varillas tienen varias funciones en el sistema de concreto reforzado, por ejemplo, en el caso de las varillas que se utilizan como refuerzo longitudinal, las corrugaciones mejoran la adherencia del acero al concreto, característica importante para que el acero desarrolle mejor las capacidades propias del material, alcanzando el valor de fluencia del mismo y garantizando el comportamiento óptimo de la estructura. La otra función importante es que el concreto reforzado con acero corrugado, desarrolla grietas más pequeñas y redistribuidas a lo largo de la luz del elemento, precisamente en la zona que se encuentra reforzada, por lo que las deflexiones generadas son de menor magnitud. Las corrugaciones permiten una mejor distribución de esfuerzos en el elemento, esto combinado con las funciones antes mencionadas, hace que la falla del elemento no se presente de manera abrupta.

De igual forma, se debe tomar en cuenta que el código ACI 318: "Requisitos de reglamento para concreto Estructural" indica en el apartado 20.2.1.1: "Las barras y alambres no

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 37 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



preesforzados deben ser corrugados, excepto las barras lisas o alambres que se permiten para ser utilizados en espirales”. Cabe recordar que el ACI 318 es el documento al que hace referencia el Código Sísmico de Costa Rica para regular el concreto reforzado en Costa Rica.

A su vez, el código ACI 318 hace referencia a las normas ASTM de especificación del acero (en este caso ASTM A706) la cual tiene su homologación en la norma INTE 06-09-02, por lo que se debe cumplir con tales requisitos. Adicionalmente, el Reglamento Técnico de acero es claro en los cumplimientos del material de acero de refuerzo que se utilice para tal fin (es decir, los que se utilicen como acero longitudinal o de cortante), se basan en los criterios técnicos de la norma INTE 06-09-02.

Por lo tanto, todo acero de refuerzo, que no sea utilizado como refuerzo en espiral, debe ser corrugado y por tanto debe cumplir con los requisitos de las corrugaciones que indican las normas respectivas.

10.4. SOBRE LA PINTURA DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES SOBRE EL RÍO ESPINO (16+800) Y EL PUENTE SOBRE EL RÍO LA VIEJA (31+400)

Observación N° 2: Se detectaron focos de corrosión y descascaramiento de la pintura en las vigas de los puentes sobre el Río Espino (16+800) y el puente sobre el Río La Vieja (31+400).

Como parte del proceso de auditoría técnica externa y como seguimiento al informe LM-PI-AT-014-15, el 08 de abril de 2016, se realizó una visita a campo para realizar la medición de espesores de pintura de protección en las vigas metálicas de los puentes sobre el río la Vieja y Espino. El LanammeUCR genera el informe I-0476-16, donde se detallan los resultados de las mediciones. La información de esta medición es comunicada de forma oportuna a la Administración en el oficio LM-AT-086-16 del 06 del mayo de 2016.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la medición realizada

Tabla 17. Resultados de la medición de espesores de pintura, LanammeUCR

Puente	Punto	Espesor (mils)	Desviación estándar
Río La Vieja	Promedio de las mediciones 1 y 12 (*)	13,94	0,76
	Promedio de superficie expuesta al sol	14,56	0,79
	Promedio superficie no expuesta al sol	14,79	0,89
	Promedio de la viga	14,64	1,27
Río Espino	Promedio de superficie expuesta al sol(**)	14,43	2,55

(*) Cara frontal de la viga.

(**) Superficie accesible para la ejecución del ensayo.

Durante el año 2015 el equipo auditor, en conjunto con los expertos en puentes del Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR, observaron que las vigas de acero de

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 38 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



los puentes Espino y la Vieja se encontraban apiladas a la intemperie y mostrando signos de corrosión. Según el CR-77 en la Sección 611 "Estructuras de Acero" 611.24 Pintado de superficies metálicas se indica que:

"...Deberán tomarse las precauciones para disminuir al mínimo el daño que puedan sufrir las películas de pintura al apilarse las piezas "

Al observar que ya se presentan deterioros por descaramiento de la pintura al ser dejadas a la intemperie en una zona tan lluviosa, en la cual se da incluso el empozamiento del agua sobre las vigas, es evidente que no se está procurando evitar el daño de la pintura. Los elementos que muestran focos de corrosión y descascaramientos de pintura deben ser tratados nuevamente con el fin de eliminar esta condición y aplicar un sistema de pintura apropiado. De igual forma, deben apilarse sin que medie el contacto directo con el suelo y protegidas de la lluvia directa para asegurar la durabilidad de las estructuras metálicas y la calidad de la obra entregada a la Administración.

Para los puentes con vigas metálicas del puente sobre el Río Espino y Río La Vieja el sistema de protección indicado en los planos del proyecto menciona que:

Primario: Protección contra corrosión, inorgánico de Zinc espesor mínimo 75 micrones (3mils)

Intermedio: para resistencia mecánica Pintura epóxica con espesor mínimo de 125 micrones (5 mils)

Acabado: para resistencia contra medio ambiente: Pintura de uretano con espesor mínimo de 200 micrones (8mils)

Como alternativa al sistema especificado se podrá considerar METALIZACION con espesor mínimo de 200 micrones (8mils)

Además si se usa acero A709 grado 50 no es necesario el uso de la pintura sólo chorro de arena.

De la indicación en planos se traduce que el espesor final de la pintura para protección contra la corrosión es de tres fases, primario, intermedio y acabado, el cual en total tiene un espesor final para los estos elementos metálicos de 16 mils.

Tal y como se puede observar en la Tabla 16 el espesor de la pintura de las vigas analizadas para el puente sobre el río La Vieja y sobre el río Espino tiene espesores promedio de 14,64 mils (371,8 microns) y 14,43 mils (366.5 microns), respectivamente. Esto en comparación con la indicación de los planos para un acabado final (tercera capa) de 16 mils (406.4 microns), evidencia que en las piezas metálicas analizadas, los espesores de pintura no cumplen con lo requerido en los planos.

Asimismo, se evidencia con los resultados de los espesores de pintura obtenidos del ensayo que se sobre pasa el espesor de pintura para una capa intermedia de 8mils (3mils + 5 mils= 76.2 micros +127 micros) por lo que se concluye que la vigas metálicas si recibieron una capa de pintura adicional (acabado = 8 mils =203,2 microns) y que debido a las condiciones de almacenamiento y el tiempo transcurrido es probable que haya sufrido una pérdida de espesor. Lo cual contraviene lo indicado en el CR-77 611 "Estructuras de Acero" 611.24 Pintado de superficies metálicas:

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 39 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



"Las estructuras de acero deberán pintarse tan pronto como sea factible después de su erección." (El subrayado no es parte del texto original)

Es evidente que estos elementos no deberían contar con todas las manos de pintura hasta su colocación final, salvo que "no estén accesibles después del montaje", lo cual puede aplicar para algunas partes de la estructura pero no para todas.

Esta observación se comunicó de forma oportuna a la Ingeniería de proyecto mediante el oficio LM-AT-086-16 en mayo de 2016. Posteriormente, durante las visitas realizadas este año se observó como la Ingeniería de proyecto colocó plástico a manera de protección en algunas de las vigas para el puente sobre el río Espino, pero todavía se encuentran en el proyecto almacenadas vigas a la intemperie y sin protección tal y como se puede observar en las siguientes fotografías.

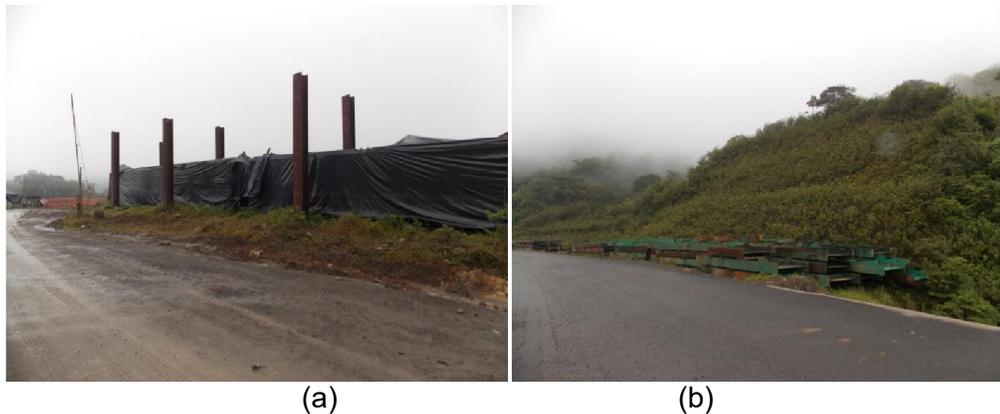


Figura 14. Almacenamiento de vigas metálicas para el puente sobre el río Espino. (a) Protegidas con plástico. (b) Sin protección.

Fecha: 02/12/2016. Estacionamiento: 14+300.

Fuente. Auditoría Técnica, PITRA-LanammeUCR

Por lo que se recomienda velar por la correcta aplicación de las capas de pintura en los elementos estructurales siguiendo la normativa correspondiente. Asimismo, se recomienda asegurar el almacenaje correcto de los elementos metálicos con el fin de aumentar la durabilidad de las piezas.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 40 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



10.5. SOBRE EL CONCRETO DE CUNETAS, BARRERAS TIPO NEW JERSEY Y ELEMENTOS DEL PUENTE SOBRE EL RÍO ESPINO

Hallazgo N° 3: La resistencia a la compresión de los cilindros de concreto para diferentes elementos del proyecto presentan valores de resistencia dentro del rango permitido por las especificación de acuerdo al análisis realizado utilizando la sección la sección 7.04 del MC-2002.

El laboratorio del LanammeUCR, realizó muestreos al concreto de Junio a Noviembre de 2016, con el objetivo de analizar la resistencia a la compresión de de elementos de concreto como cunetas, barreras tipo New Jersey y elementos del puente sobre el río Espino. A continuación se detallan las muestras:

Tabla 18. Resultados de ensayos de compresión a los 28 días para cilindros de concreto para cunetas ($f'c = 255 \text{ kg/cm}^2$) obtenidas por el LanammeUCR

Información General				Concreto fresco			Resistencia a compresión a 28 días (kg/cm^2)	
Informe	Muestra	Est	Fecha de muestreo	Temp °C	Aire %	Revenimiento mm	Promedio	Desv. est.
I-0807-16	M-1453-16	17+380	15/06/2016	24,9	2,4	35	368	18,4
I-0807-16	M-1454-16	15+300	16/06/2016	26,8	2,8	56	348	1,4
I-0868-16	M-1578-16	14+150	28/06/2016	27,0	2,6	64	256	31,2
I-0868-16	M-1582-16	15+150	30/06/2016	26,1	3,0	60	263	44,9
I-0890-16	M-1637-16	15+450	05/07/2016	26,1	2,3	65	288	24,7
I-0890-16	M-1639-16	15+400	06/07/2016	26,5	2,5	95	278	33,5
I-0962-16	M-1763-16	15+240	19/07/2016	27,0	2,5	110	307	16,5
I-0962-16	M-1767-16	15+280	21/07/2016	26,6	1,8	100	282	45,4
I-0996-16	M-1842-16	15+600	27/07/2016	-	3,5	40	246	24,5
	M-1845-16	15+340	28/07/2016	30,0	2,5	90	273	30,2
I-0932-16	M-1720-16	-	12/07/2016	26,0	2,2	75	299	60,2
I-0932-16	M-1722-16	13+640	13/07/2016	24,5	2,4	5	251	30,3
I-0932-16	M-1724-16	-	14/07/2016	25,0	2,3	50	277	32,4
I-1044-16	M-1902-16	15+460	04/08/2016	26,5	2,8	55	275	23,3
I-1073-16	M-1952-16	13+750	10/08/2016	26,5	2,6	65	352	20,6

- No se reporta el dato

Tabla 19. Resultados de ensayos de compresión a los 28 días para cilindros de concreto para barreras tipo New Jersey ($f'c = 286 \text{ kg/cm}^2$) obtenidas por el LanammeUCR

Información General			Concreto fresco			Resistencia a compresión a 28 días (kg/cm^2)	
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	Temp °C	Cont. Aire %	Revenim mm	Promedio	Desvest
I-0750-16	M-1385-16	08/06/2016	31,1	3,1	240	582	38,2
I-0750-16	M-1390-16	09/06/2016	29,5	3,4	240	574	118,8
I-0807-16	M-1452-16	14/06/2016	28,0	4,5	251	539	57,3
I-0807-16	M-1455-16	15/06/2016	28,7	3,5	245	570	48,1
I-0807-16	M-1456-16	16/06/2016	31,1	3,5	250	577	41,0
I-0868-16	M-1577-16	28/06/2016	28,6	3,8	255	427	75,5
I-0868-16	M-1579-16	29/06/2016	27,9	3,7	238	480	83,8
I-0868-16	M-1583-16	30/06/2016	28,5	-	230	459	84,8
I-0890-16	M-1638-16	05/07/2016	28,0	4,0	260	385	0,0
I-0890-16	M-1640-16	06/07/2016	30,6	3,0	230	454	94,5

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 41 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Información General			Concreto fresco			Resistencia a compresión a 28 días (kg/cm ²)	
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	Temp °C	Cont. Aire %	Revenim mm	Promedio	Desvest
I-0962-16	M-1764-16	19/07/2016	27,2	2,3	250	524	79,9
I-0962-16	M-1766-16	20/07/2016	28,2	2,8	160	434	45,1
I-0962-16	M-1768-16	21/07/2016	28,5	2,5	180	402	47,5
I-0996-16	M-1841-16	26/07/2016	-	4,5	170	479	109,1
I-0996-16	M-1843-16	27/07/2016	29,0	2,2	250	426	28,2
I-0996-16	M-1846-16	28/07/2016	27,0	2,8	235	470	39,2
I-0932-16	M-1721-16	12/07/2016	25,5	2,8	260	422	57,2
I-0932-16	M-1723-16	13/07/2016	25,0	4,3	220	499	55,8
I-0932-16	M-1725-16	14/07/2016	27,5	2,4	240	458	24,5
I-1044-16	M-1903-16	04/08/2016	30,5	3,0	220	462	54,3
I-1044-16	M-1901-16	03/08/2016	29,0	3,2	245	511	29,5
I-1073-16	M-1951-16	09/08/2016	29,5	-	-	506	49,6
I-1073-16	M-1953-16	10/08/2016	29,5	-	-	500	107,9
I-1107-16	M-2041-16	17/08/2016	28,5	-	-	554	223,4
I-1107-16	M-2043-16	18/08/2016	28,0	-	-	455	42,2
I-1269-16	M-2218-16	30/08/2016	30,5	-	-	472	46,9
I-1269-16	M-2219-16	31/08/2016	28,5	-	-	395	31,6
I-1134-16	M-2120-16	23/08/2016	28,0	-	90	432	75,0
I-1134-16	M-2121-16	25/08/2016	28,0	-	-	474	100,2
I-1258-16	M-2259-16	06/09/2016	29,0	-	-	499	18,9
I-1258-16	M-2261-16	07/09/2016	27,0	-	-	408	102,2
I-1258-16	M-2263-16	08/09/2016	28,5	-	-	447	62,0

- No se reporta el dato

Tabla 20. Resultados a los 28 días para cilindros de concreto para elementos del puentes sobre el río Espino ($f'c = 286 \text{ kg/cm}^2$) obtenidas por el LanammeUCR.

Información General			Concreto fresco			Resistencia a compresión a 28 días (kg/cm ²)	
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	Temp °C	Cont. Aire %	Revenim mm	Promedio	Desvest
I-0962-16	M-1765-16	20/07/2018	24,0	2,0	150	379	16,5
I-1073-16	M-1954-16	11/08/2016	27,5	2,0	125	504	55,7
I-1073-16	M-1955-16	11/08/2016	29,0	-	-	467	50,4
I-0996-16	M-1844-16	28/07/2016	24,2	1,6	215	246	24,6
I-1107-16	M-2037-16	17/08/2016	32,0	-	-	470	70,7
I-1269-16	M-2220-16	01/09/2016	30,5	1,6	130	376	16,7
I-1134-16	M-2122-16	25/08/2016	29,0	-	-	496	45,8
I-1294-16	M-2340-16	21/09/2016	25,0	1,2	190	329	25,1

- No se reporta el dato

Se realizó un análisis estadístico para los diferentes tipos de concreto muestreados en el proyecto., acorde con la sección 7.04 del MC-2002, a partir del cual se determina el porcentaje fuera de los límites especificados. Este análisis es útil para observar no

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 42 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



solamente el nivel de cumplimiento de una especificación, sino también la variabilidad del proceso.

Tabla 21. Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por el LanammeUCR de cilindros de concreto.

Parámetro	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje permitido fuera de los límites de especificación (%)*
Resistencia cilindros de concreto cunetas	17	5,0%	49,0%
Resistencia cilindros de concreto Barrera New Jersey	35	0,0%	46,0%
Resistencia cilindros de concreto elementos puente río Espino	8	11,0%	58,0%

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote.

Tal y como se observa en la tabla anterior, para todos las clases de concreto analizados se obtienen porcentajes dentro de los límites permitidos por la especificación para el número de muestras ensayadas.

A través del oficio LM-AT-135-16 de Agosto de 2016, se le solicita a la Ingeniería de Proyecto los informes de control de calidad a cargo del contratista y de la verificación de calidad. En el oficio GCVP-PSC-28-16-615 la Administración envía a esta Auditoría Técnica los informes de la verificación de calidad del laboratorio LGC Ingeniería de Pavimentos S.A.

Con los datos del laboratorio de verificación de calidad, se realiza un análisis similar al que se trabajó con los datos del LanammeUCR. En la siguiente tabla se puede observar los resultados obtenidos.

Tabla 22. Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por LGC de cilindros de concreto.

Parámetro	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje permitido fuera de los límites de especificación (%)*
Resistencia cilindros de concreto cunetas	14	1,0%	53,0%
Resistencia cilindros de concreto Barrera New Jersey	22	0,0%	48,0%
Resistencia cilindros de concreto elementos puente río Espino	2	-	-

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote.

- Para dos muestras no se puede realizar análisis estadístico

Al igual que en el caso anterior, no existen porcentajes fuera de los límites permitidos para las muestras de concreto de cunetas y de barreras de concreto. En el caso del concreto utilizado en elementos del río Espino no se pudo realizar el análisis estadístico ya que se requieren al menos 5 muestras de cilindros de concreto con 28 días.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 43 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



El análisis de las resistencias a 28 días obtenidas por ambas entidades evidencia que los tres tipos de concreto cumplen a cabalidad con la resistencia requerida. Esto es importante para garantizar la calidad del material que compone la estructura y para el desempeño de la misma.

10.6. SOBRE EL CONTENIDO DE ASFALTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA CON POLÍMERO

Hallazgo N° 4: Se evidencia que algunas muestras de la mezcla modificada con polímero presentan valores de contenido de asfalto fuera de los límites de tolerancia establecidos por el óptimo $\pm 0,5\%$ (4,90% - 5,90%) establecido en el diseño de mezcla asfáltica vigente. Igualmente se observan incumplimientos en las muestras de mezcla asfáltica convencional para el óptimo $\pm 0,5\%$ (4,60% - 5,60%).

De acuerdo con el diseño estructural la capa de ruedo del pavimento será construida en un espesor de 15 cm, la cual estará conformada por dos capas de mezcla asfáltica, a saber los primeros 7,5 de mezcla asfáltica modificada con polímero y los siguientes 7,5 cm con mezcla asfáltica convencional. A continuación se detallan aspectos generales de cada uno de los diseños:

Mezcla asfáltica convencional: el diseño de mezcla convencional vigente corresponde al documento identificado como "Informe 002-2015"¹. En dicho documento se establece que el valor óptimo de asfalto es $5,10 \pm 0,5\%$ sobre el peso de la mezcla, por tanto se establece que los límites permisibles del rango de contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica convencional producida son 4,60% a 5,60%.

Mezcla asfáltica modificada con polímeros: el diseño de mezcla asfáltica modificada con polímeros que se encuentra vigente corresponde al documento identificado como "Informe 003-2015"². En dicho documento se establece que el valor óptimo de asfalto es $5,40 \pm 0,5\%$ sobre el peso de la mezcla, lo cual define que los límites permisibles del rango de contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica modificada producida son 4,90% a 5,90%.

Mezcla asfáltica convencional

En la Tabla 23 se resumen los resultados obtenidos por el LanammeUCR para las muestras analizadas y se resalta el resultado que se encuentra fuera del rango de contenido de asfalto (4,60% a 5,60%) establecido en el diseño de mezcla y en la Figura 14 se presentan gráficamente estos resultados. Se indica el valor meta que corresponde al contenido óptimo de asfalto, así como los límites del rango óptimo, de acuerdo con los datos del informe de diseño de mezcla vigente.

¹ Elaborado el día 11 de mayo de 2015 por el laboratorio de control de calidad OJM Consultores de Calidad y Laboratorios.

² Elaborado el día 20 de octubre de 2015 Con fórmula de trabajo con identificación NCSC-09-2015 del 20 de noviembre de 2015 por el laboratorio de control de calidad OJM Consultores de Calidad y Laboratorios..

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 44 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Tabla 23. Resultados de contenido de asfalto para la mezcla convencional reportados por el LanammeUCR

Información General			Contenido (%)		
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	Agua (%)	Factor de corrección (%)	Asfalto sobre la mezcla (%)
I-0790-16	M-1477-16	23/06/2016	0,12	0,5	4,7
I-0797-16	M-1500-16	24/06/2016	0,12	0,5	4,8
I-0855-16	M-1571-16	30/06/2016	0,09	0,5	4,1
I-0954-16	M-1759-16	19/07/2016	0,17	0,5	4,7
I-0977-16	M-1837-16	29/07/2016	0,16	0,5	4,8
I-1092-16	M-2021-16	19/08/2016	0,15	0,5	4,6
I-1135-16	M-2104-16	24/08/2016	0,23	0,5	4,7
I-1156-16	M-2184-16	01/09/2016	0,13	0,5	5,2
I-1295-16	M-2388-16	29/09/2016	0,16	0,5	4,8
I-1295-16	M-2389-16	30/09/2016	0,13	0,5	4,3
Promedio			-	-	4,7
Desviación estándar			-	-	0,3
Porcentaje estimado de valores fuera de límite			42%		
Máximo porcentaje permitido fuera de los límites de especificación (%)*			55%		

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote.

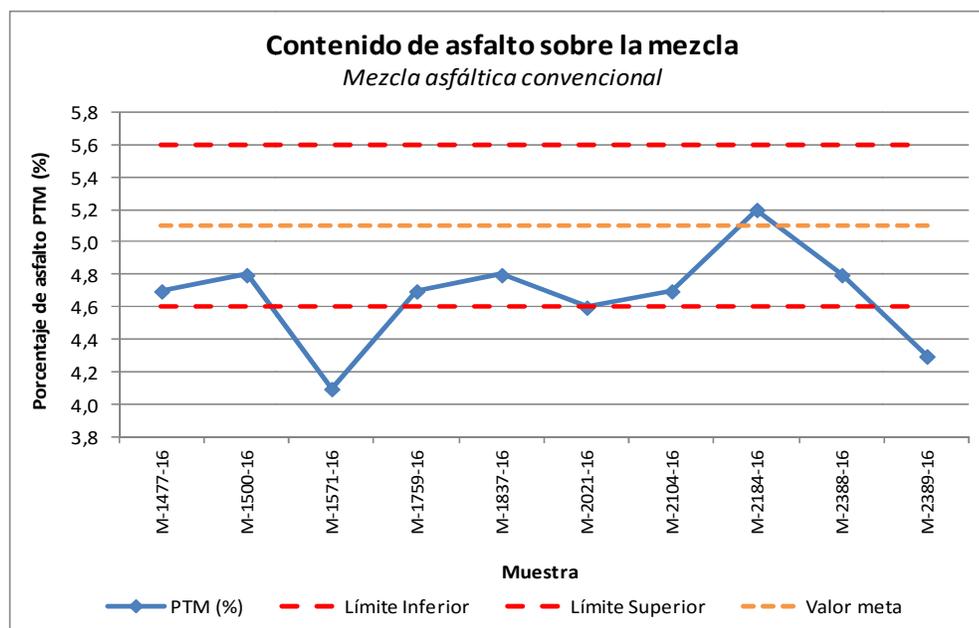


Figura 15. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica convencional ensayadas por el LanammeUCR.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 45 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



En la Figura 14 se evidencia que dos muestras se ubican fuera de los límites de especificación con relación al contenido de asfalto óptimo (valor meta) requerido en el diseño de mezcla. Asimismo, se denota que la mayoría de los valores se ubican en la zona comprendida entre el valor meta y el límite inferior, lo cual establece un riesgo latente durante el proceso productivo ya que se puede estimar que el 42% de los valores obtenidos se encuentran fuera de los límites de especificación al considerar la variación propia de la producción, cabe destacar que acorde con el MC-2002 para un tamaño de 10 muestra se permite un porcentaje de 55%.

Mezcla asfáltica modificada con polímero

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo se evidencia que 3 de los resultados de contenido de asfalto superan a los límites permisibles.

En la Tabla 24 se resumen los resultados obtenidos de las muestras de mezcla modificada con polímero analizadas y reportadas por el LanammeUCR, resaltándose los resultados que se encuentran fuera del rango de contenido de asfalto (4,90% a 5,90%) establecido en el diseño de mezcla. En la Figura 2 se presenta gráficamente estos resultados, y se indica el valor meta que corresponde al contenido óptimo de asfalto, así como los límites del rango óptimo, de acuerdo con los datos del informe de diseño de mezcla vigente.

Tabla 24. Resultados de contenido de asfalto para la mezcla modificada con polímero reportados por el LanammeUCR.

Información General			Contenido (%)		
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	Agua (%)	Factor de corrección (%)	Asfalto sobre la mezcla (%)
I-0846-16	M-1570-16	30/06/2016	0,13	0,7	5,4
I-0914-16	M-1718-16	14/07/2016	0,13	0,7	4,8
I-0960-16	M-1760-16	20/07/2016	0,17	0,7	4,9
I-0960-16	M-1761-16	21/07/2016	0,17	0,7	4,9
I-1025-16	M-1898-16	03/08/2016	0,22	0,7	4,8
I-1138-16	M-2103-16	23/08/2016	0,18	0,7	4,8
I-1138-16	M-2106-16	25/08/2016	0,18	0,7	4,4
I-1157-16	M-2185-16	02/09/2016	0,15	0,7	4,9
I-1209-16	M-2252-16	09/09/2016	0,19	0,7	4,9
Promedio			-	-	4,9
Desviación estándar			-	-	0,3
Porcentaje estimado de valores fuera de límite			55%		
Máximo porcentaje permitido fuera de los límites de especificación (%)*			57%		

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 46 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------

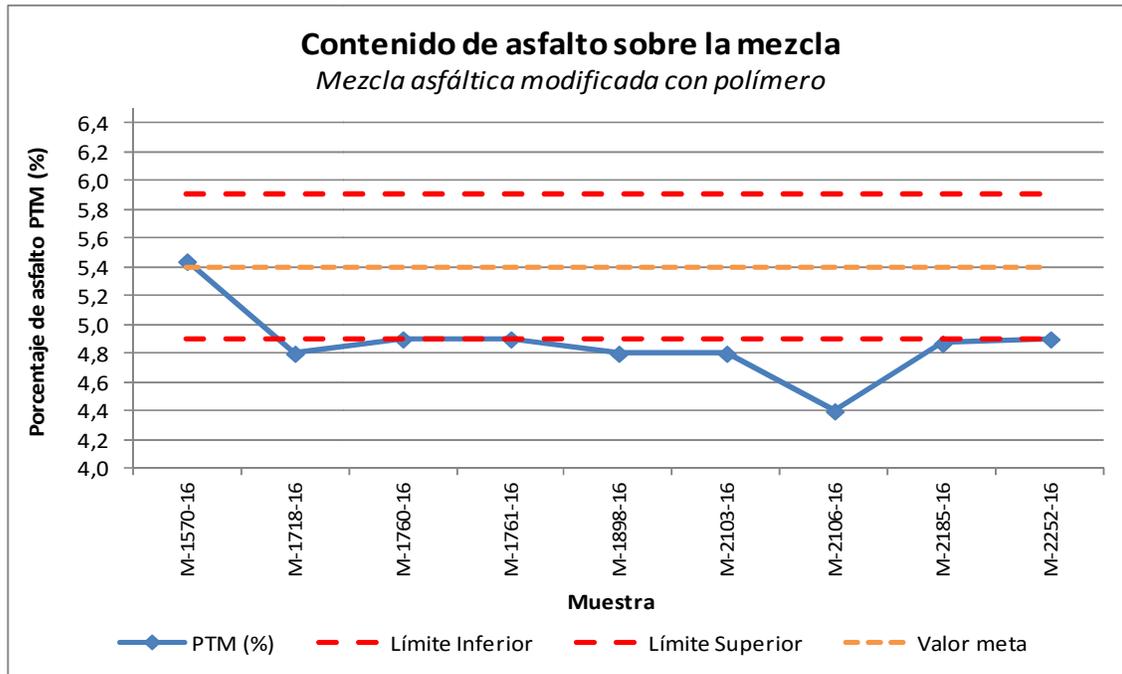


Figura 16. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica modificada con polímero ensayadas por el LanammeUCR.

En la Figura 15 se evidencia que cuatro muestras rebasan el límite inferior de especificación. Además se observa que gran parte de los valores se ubican en la zona comprendida entre el valor meta y el límite inferior, inclusive 4 valores se ubican en este límite. Esta situación permite estimar que el 55% de los valores obtenidos se encuentran fuera de los límites de especificación lo que es un riesgo potencial durante el proceso productivo, ya que, se podrían generar mayores incumplimientos en este parámetro de contenido de asfalto, tal como se indicó anteriormente para el caso de la mezcla convencional. Este porcentaje se encuentra próximo al valor límite de 57%.

Al presentarse una cantidad de asfalto menor a la requerida en el diseño de mezcla, es posible que se carezca de asfalto para recubrir los agregados, aunado a un aumento en la viscosidad del asfalto por efecto de la adición del polímero, lo que podría promover una cobertura deficiente de las partículas minerales que podría resultar en el desnudamiento de los agregados y formación de baches ante presencia de humedad.

10.7. SOBRE EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA CON POLÍMERO

Hallazgo N° 5: Los resultados granulométricos reportados para la combinación granulométrica de la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada con polímero cumplen los límites de especificación para la granulometría de diseño especificada.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 47 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



De acuerdo con los requisitos para la composición granulométrica de la mezcla asfáltica señalados en el apartado 401.04.02 de la Disposición Vial AM-01-2001 en donde se establece el rango de especificación y la tolerancia permitida para las diferentes opciones de tamaño máximo del agregado, a continuación se analizan los resultados de las muestras de mezcla asfáltica producida en el proyecto.

Mezcla asfáltica convencional

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados por el LanammeUCR se observa la presencia de curvas granulométricas con tendencia hacia el límite fino, en especial a partir de la malla N°16 se observan valores cercanos al límite superior establecido en la especificación granulométrica, tal como se ilustra en la Figura 16. En cuanto a la fracción gruesa se observa que tiende hacia el límite menor de la especificación (malla 3/8), lo que implica la presencia de material grueso, que podría favorecer la presencia de altos contenido de vacíos en la mezcla asfáltica.

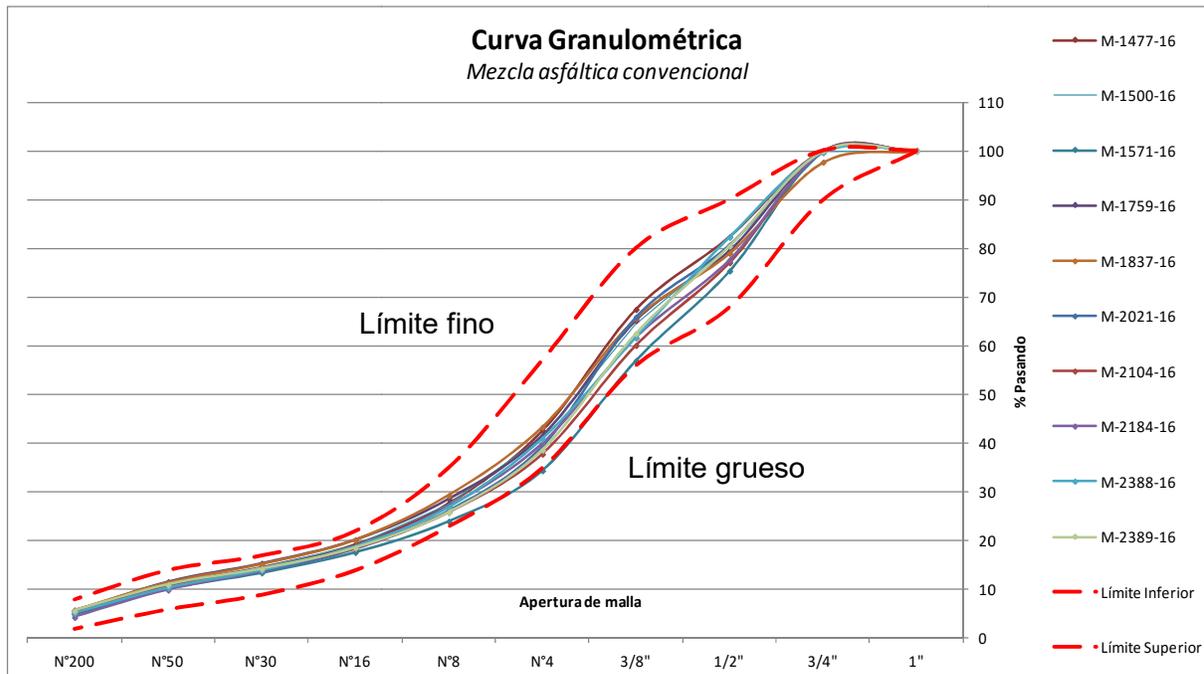


Figura 17. Resultados de granulometría en las muestras de mezcla asfáltica convencional ensayadas por el LanammeUCR.

En la Tabla 25 se resumen los resultados obtenidos para cada una de las muestras analizadas y se resalta de color rojo el resultado que se encuentra fuera de los límites de especificación establecidos para control granulométrico. Se denota que todos los resultados de los tamaños granulométricos se encuentran dentro de los límites de especificación.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 48 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Tabla 25. Resultados granulométricos de mezcla asfáltica convencional reportados por el LanammeUCR

Información General			Mallas								
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	600 µm	300 µm	75 µm
			3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°200
Límite Inferior			90	68	56	35	23	14	9	6	2
Límite Superior			100	90	80	57	35	22	17	14	8
I-0790-16	M-1477-16	23/06/2016	100,0	82,4	67,5	42,6	27,7	19,3	14,6	11,1	5,8
I-0797-16	M-1500-16	24/06/2016	100,0	80,5	64,4	41,2	27,3	19,1	14,6	11,0	5,5
I-0855-16	M-1571-16	30/06/2016	100,0	75,4	57,0	34,4	24,0	17,6	13,4	10,1	4,9
I-0954-16	M-1759-16	19/07/2016	100,0	79,5	65,2	41,6	28,6	20,2	15,4	11,6	5,5
I-0977-16	M-1837-16	29/07/2016	97,7	79,0	65,6	43,3	29,3	20,1	15,1	11,3	5,6
I-1092-16	M-2021-16	19/08/2016	100,0	80,7	65,9	39,4	26,2	18,4	13,8	10,3	5,0
I-1135-16	M-2104-16	24/08/2016	100,0	77,1	60,1	37,8	25,8	18,4	14,0	10,6	5,1
I-1156-16	M-2184-16	01/09/2016	99,7	77,6	61,7	39,9	27,0	18,7	13,7	9,9	4,3
I-1295-16	M-2388-16	29/09/2016	99,7	82,3	61,7	40,9	26,8	18,7	13,9	10,3	5,1
I-1295-16	M-2389-16	30/09/2016	100,0	80,5	62,5	38,6	25,8	18,5	14,2	11,0	5,6

Finalmente, con el objetivo de determinar el comportamiento general de la granulometría de la mezcla asfáltica convencional, se aplican cálculos estadísticos para establecer el cumplimiento con relación a los requisitos contractuales de las muestras analizadas, dicho análisis se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26. Determinación de la variabilidad y cumplimiento de las curvas granulométricas

Información General			Mallas								
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	600 µm	300 µm	75 µm
			3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°200
Límite Inferior			90	68	56	35	23	14	9	6	2
Límite Superior			100	90	80	57	35	22	17	14	8
Promedio			99,7	79,5	63,2	40,0	26,9	18,9	14,3	10,7	5,2
Desv. Estándar			0,7	2,3	3,2	2,6	1,5	0,8	0,6	0,6	0,4
Índice de calidad Superior			0,4	4,6	5,3	6,5	5,4	3,9	4,3	5,9	6,2
Índice de calidad Inferior			13,5	5,1	2,3	1,9	2,5	6,1	8,2	8,4	7,2
TFE Superior			34,8%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%
TFE Inferior			0,0%	0,0%	2,5%	4,4%	1,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Porcentaje estimado de valores fuera de límite			34,8%	0,1%	2,5%	4,4%	1,6%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%
Máximo porcentaje permitido fuera de los límites de especificación (%)*			55%								

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote.

De acuerdo con la aplicación de la sección 7.04 "Método de análisis de nivel de calidad-desviación estándar y determinación del factor de pago" del MC-2002 y tal como se observa de la tabla anterior todos los resultados de los tamaños granulométricos presentan poca variabilidad en el proceso de producción, excepto en la malla 3/4" donde se observa un

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 49 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



porcentaje estimado de 34,8% en comparación con valores de 2,5% o 4,4% de las mallas 3/8" o No4. Cabe recalcar que los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites permitidos por la especificación de acuerdo al análisis estadístico realizado.

Mezcla asfáltica modificada con polímero

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados por el LanammeUCR se observa la presencia de curvas granulométricas con inclinación hacia el límite grueso de la especificación, particularmente desde la malla N°4 a la malla N°16 se mantienen cercanos del límite inferior (material grueso) establecido en la especificación granulométrica, tal como se ilustra en la Figura 17. En tanto los resultados de la fracción fina se ubican entre el valor meta y el límite superior de material fino lo que indica una alta presencia de finos en la mezcla, que podría afectar el valor de la relación polvo asfalto de la mezcla asfáltica hacia valores cercanos a la especificación establecida.

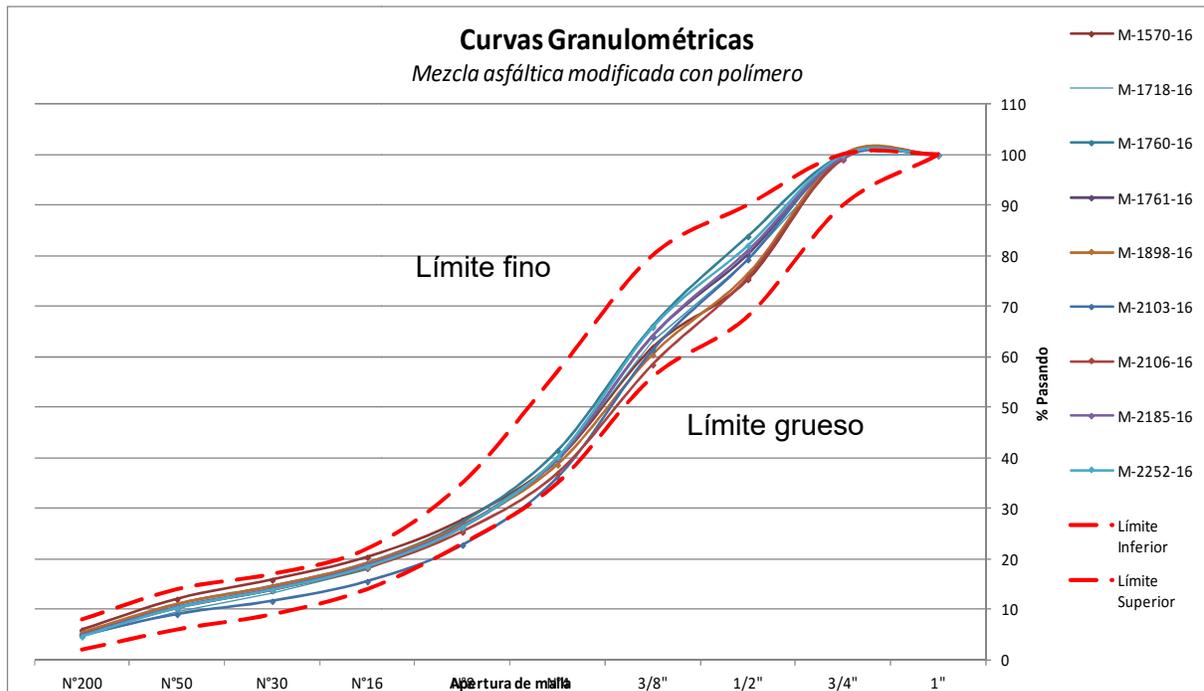


Figura 18. Resultados de granulometría en las muestras de mezcla asfáltica con polímero ensayadas por el LanammeUCR.

En la Tabla 27 se resumen los resultados obtenidos para cada una de las muestras analizadas y se evidencia que todos los resultados se encuentran dentro de los límites de especificación establecidos.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 50 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Tabla 27. Resultados granulométricos de mezcla asfáltica con polímero reportados por el LanammeUCR

Información General			Mallas								
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	600 µm	300 µm	75 µm
			3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°200
Límite Inferior			90	68	56	35	23	14	9	6	2
Límite Superior			100	90	80	57	35	22	17	14	8
I-0846-16	M-1570-16	30/06/2016	99,7	75,4	62,0	39,8	27,8	20,4	15,9	12,1	6,0
I-0914-16	M-1718-16	14/07/2016	100,0	79,2	63,1	38,8	26,1	17,9	13,1	9,4	4,6
I-0960-16	M-1760-16	20/07/2016	100,0	83,9	66,2	41,5	27,3	19,2	14,6	11,0	5,2
I-0960-16	M-1761-16	21/07/2016	100,0	80,2	64,1	39,7	26,2	18,4	13,8	10,2	4,9
I-1025-16	M-1898-16	03/08/2016	100,0	76,4	60,5	38,7	26,7	19,1	14,5	11,0	5,4
I-1138-16	M-2103-16	23/08/2016	99,7	79,3	61,4	36,2	22,8	15,6	11,7	9,1	5,0
I-1138-16	M-2106-16	25/08/2016	99,1	75,7	58,5	37,0	25,4	18,2	13,8	10,3	4,9
I-1157-16	M-2185-16	02/09/2016	99,4	81,0	64,2	39,9	26,6	18,9	14,2	10,6	5,1
I-1209-16	M-2252-16	09/09/2016	100,0	82,1	65,9	40,2	26,3	18,5	13,9	10,3	4,7

Finalmente, con el objetivo de determinar el comportamiento general de la granulometría de la mezcla asfáltica modificada con polímero, se aplican cálculos estadísticos para establecer el cumplimiento con relación a los requisitos contractuales de las muestras analizadas, dicho análisis se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Determinación de la variabilidad y cumplimiento de las curvas granulométricas

Información General			Mallas								
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	600 µm	300 µm	75 µm
			3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°200
Límite Inferior			90	68	56	35	23	14	9	6	2
Límite Superior			100	90	80	57	35	22	17	14	8
Promedio			99,8	79,2	62,9	39,1	26,1	18,5	13,9	10,4	5,1
Desv. Estándar			0,3	2,9	2,5	1,6	1,4	1,3	1,1	0,9	0,4
Índice de calidad Superior			0,7	3,7	6,8	10,9	6,2	2,7	2,7	4,0	6,9
Índice de calidad Inferior			29,8	3,8	2,7	2,5	2,2	3,4	4,3	5,0	7,4
TFE Superior			24,8%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%	1,4%	0,2%	0,0%
TFE Inferior			0,0%	0,3%	1,3%	1,9%	3,0%	0,4%	0,1%	0,1%	0,0%
Porcentaje estimado de valores fuera de límite			24,8%	0,6%	1,3%	1,9%	3,0%	1,7%	1,5%	0,3%	0,0%
Máximo porcentaje permitido fuera de los límites de especificación (%)*			57%								

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote.

Como se observa de la tabla anterior que todos los tamaños granulométricos denotan cumplimiento de las especificaciones contractuales al aplicar la sección 7.04 "Método de análisis de nivel de calidad-desviación estándar y determinación del factor de pago" del MC-2002, ya que el porcentaje mayor estimado se encuentra en la malla 3/4" y es de 24,8% en comparación con un máximo permitido para 9 muestras de 57%.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 51 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



10.8. SOBRE EL ANALISIS VOLUMÉTRICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA CON POLÍMERO

Hallazgo N° 6: Se observa que 70% de las muestras de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con polímero analizadas presentan valores por encima del porcentaje máximo permitido por la especificación en alguno de los parámetros Marshall establecidos en la disposición vial AM-01-2001.

Mezcla asfáltica convencional

Con el propósito de corroborar el cumplimiento de estas especificaciones se analizan los resultados de ensayo reportados en los Informes de Ensayo de I-790-16, I-797-16, I-855-16, I-954-16, I-977-16, I-1092-16, I-1135-16, I-1156-16 y I-1295-16 de muestreos realizados por el LanammeUCR en la planta de producción de la empresa Sánchez Carvajal ubicada en Sifón.

Tabla 29. Resultados volumétricos de mezcla asfáltica convencional

Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	Asfalto (PTM)	Gbs	Gmax	Vacios	VMA	VFA	Polvo/asfalto
			%	-	-	%	%	%	%
Límite Inferior			4,6	-	-	3	13	65	0,6
Límite Superior			5,6	-	-	5	-	75	1,3
M-1477-16	17+130 Sifón-Abundancia	23/06/2016	4,7	2,408	2,527	4,7	12,6	62,9	1,7
M-1500-16	17+170 Abundancia-Sifón	24/06/2016	4,8	2,414	2,516	4,1	12,5	67,6	1,5
M-1571-16	17+150 Sifón-Abundancia	30/06/2016	4,1	2,384	2,536	6,0	13,7	56,2	1,5
M-1759-16	17+260 Sifón-Abundancia	19/07/2016	4,7	2,416	2,519	4,1	13,0	68,1	1,5
M-1837-16	17+425 Abundancia-Sifón	29/07/2016	4,8	2,433	2,515	3,2	12,3	74,0	1,5
M-2021-16	17+425 Sifón-Abundancia	19/08/2016	4,6	2,400	2,518	4,7	13,5	65,0	1,3
M-2104-16	18+017 Abundancia-Sifón	24/08/2016	4,7	2,400	2,515	4,6	13,5	66,4	1,3
M-2184-16	18+118 Abundancia-Sifón	01/09/2016	5,2	2,405	2,526	4,8	13,9	65,0	1,1
M-2388-16	17+420 aSifón -Abundancia	29/09/2016	4,8	2,373	2,518	5,8	14,5	60,5	1,4
M-2389-16	18+160 Sifón-Abundancia	30/09/2016	4,3	2,394	2,53	5,4	13,3	60,0	1,6
Promedio			4,7	2,403	2,522	4,7	13,3	64,6	1,4
Desv. Estándar			0,3	0,017	0,007	0,8	0,7	5,0	0,2
Índice de calidad Superior			3,12	-	-	0,31		2,09	-0,76
Índice de calidad Inferior			0,23	-	-	2,07	0,41	-0,09	4,82
Porcentaje estimado de valores fuera de límite (%)			42%	-	-	42%	35%	57%	77%
Máximo porcentaje permitido fuera de los límites de especificación (%)*			58%			58%	65%	43%	23%

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 52 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Se puede observar que 7 de las muestras ensayadas presenta valores por encima del máximo permitido en los parámetros volumétricos Marshall para aceptación de la mezcla asfáltica, a saber: vacíos, vacíos llenos de asfalto (VFA) y en la relación polvo/asfalto. De éstos se observan valores altos en la cantidad de vacíos, lo que puede ocasionar mezcla muy abierta susceptible al efecto de la humedad o los agentes atmosféricos.

En cuanto al parámetro vacíos llenos de asfalto (VFA) se establece que cuatro resultados están por debajo del límite inferior de la especificación. Mientras que siete resultados del parámetro relación polvo/asfalto se encuentran en la parte superior del rango. Estos resultados representan una mezcla asfáltica con una alta susceptibilidad a generar deterioros tales como exudación, desplazamiento y ahuellamiento.

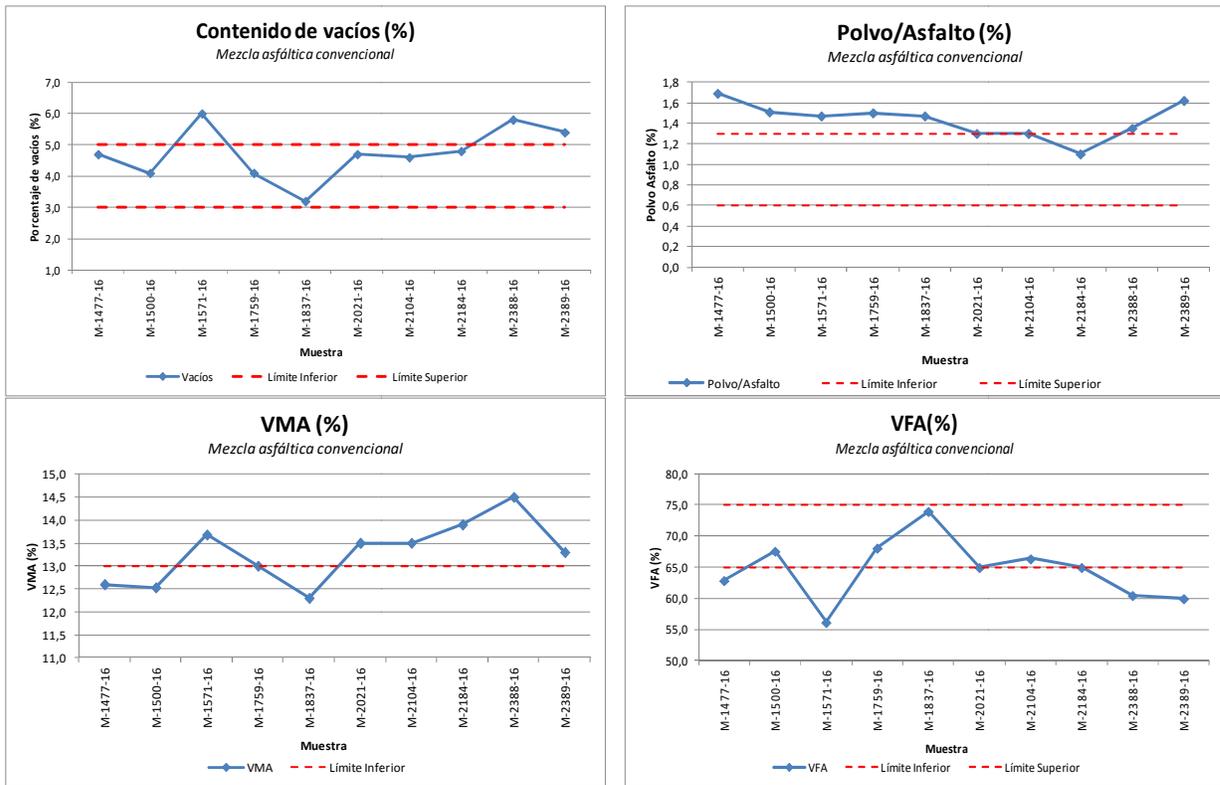


Figura 19. Resultados de volumetría en las muestras de mezcla asfáltica convencional ensayadas por el LanammeUCR.



Mezcla asfáltica modificada con polímero

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en los Informes de Ensayo I-846-16, I-914-16, I-960-16, I-1025-16, I-1138-16, I-1157-16 y I-1209-16 se evidencia que la mayoría de los resultados se encuentran entre los límites permisibles.

Tabla 30. Resultados volumétricos de mezcla asfáltica modificada con polímero

Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	Asfalto (PTM)	Gbs	Gmax	Vacíos	VMA	VFA	Polvo/asfalto
			%	-	-	%	%	%	%
Límite Inferior			4,9	-	-	3	13	65	0,6
Límite Superior			5,9	-	-	5	-	75	1,3
M-1570-16	17+129 Abundancia-Sifón interno	30/06/2016	5,4	2,385	2,493	4,4	14,7	70,3	1,4
M-1718-16	14+130 Sifón-Abundancia interno	14/07/2016	4,8	2,372	2,510	5,5	14,6	62,7	1,2
M-1760-16	17+240 Sifón-Abundancia interno	20/07/2016	4,9	2,377	2,510	5,3	14,4	63,5	1,3
M-1761-16	17+250 Sifón-Abundancia externo	21/07/2016	4,9	2,366	2,484	4,8	15,0	68,2	1,1
M-1898-16	17+470 Abundancia-Sifón interno	03/08/2016	4,8	2,406	2,510	4,1	13,4	69,1	1,4
M-2103-16	17+938 Abundancia-Sifón, Externo	23/08/2016	4,8	2,353	2,516	6,5	15,4	58,1	1,3
M-2106-16	17+740 Abundancia-Sifón, Interno	25/08/2016	4,4	2,383	2,515	5,2	13,8	62,5	1,3
M-2185-16	17+910 Sifón-Abundancia, interno	02/09/2016	4,9	2,392	2,513	4,8	13,9	65,6	1,3
M-2252-16	Planta de MAC	09/09/2016	4,9	2,384	2,502	4,7	14,3	66,8	1,1
Promedio			4,9	2,380	2,506	5,0	14,4	65,2	1,3
Dev. Estándar			0,3	0,015	0,011	0,7	0,6	3,9	0,1
Índice de calidad Superior			3,89	-	-	-0,05		2,53	0,42
Índice de calidad Inferior			-0,12	-	-	2,89	2,25	0,05	6,56
Porcentaje estimado de valores fuera de límite (%)			55%	-	-	53%	3%	50%	34%
Máximo porcentaje permitido fuera de los límites de especificación (%)*			45%	-	-	47%	97%	50%	66%

*Porcentaje máximo de los datos que permite la especificación para no rechazar el lote.

Se puede observar valores por encima del porcentaje máximo establecidos en la especificación en 4 de las muestras de mezcla modificada con polímero en el parámetro de contenido de vacíos y VFA, estableciendo una variabilidad en los resultados de estos parámetros de 53 y 50% respectivamente. Por su parte, la relación polvo asfalto presenta 2 muestras que incumplen y gran parte de los otros valores se mantienen sobre el límite superior de especificación, lo que establece una variabilidad del 34% de valores que están fuera de los límites de la especificación, tal como se puede apreciar en la Figura 19.

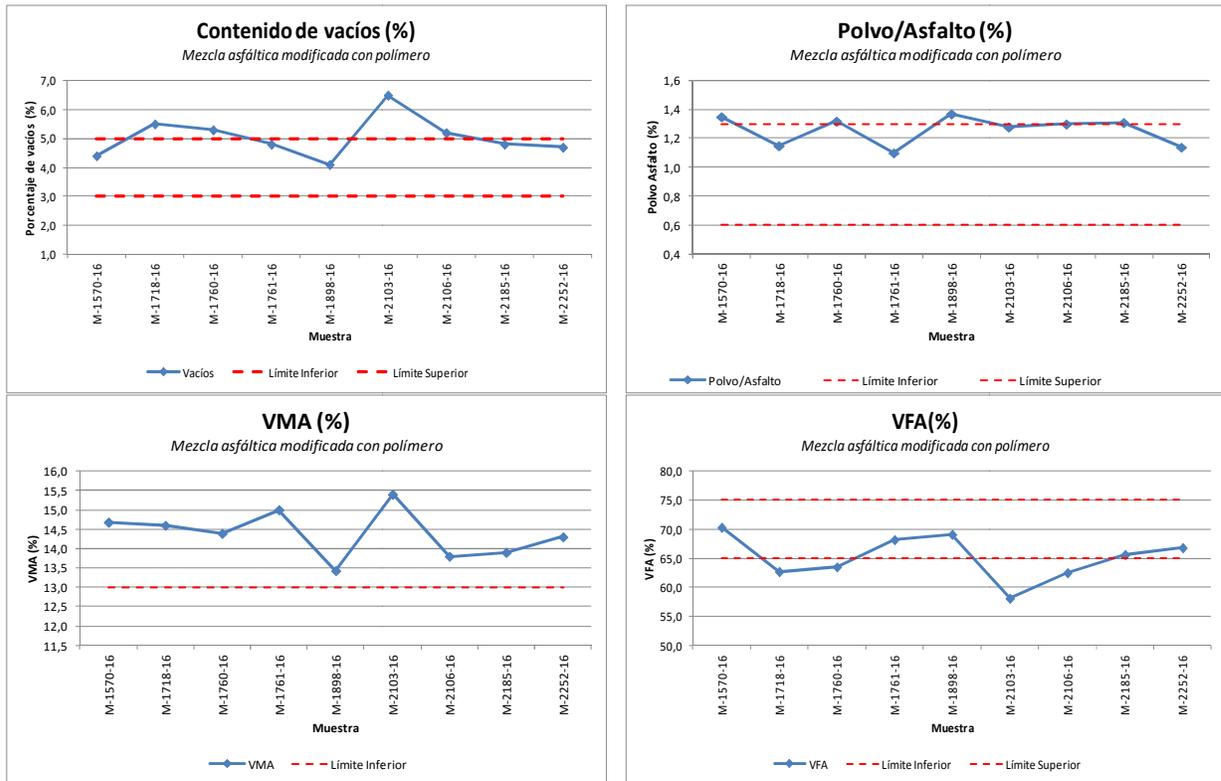


Figura 20. Resultados de volumetría en las muestras de mezcla asfáltica modificada ensayadas por el LanammeUCR.

Por lo tanto esta Auditoría Técnica evidencia que un 70% de las muestras de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con polímero analizadas presentan valores por encima del porcentaje máximo permitido por la especificación en alguno de los parámetros Marshall establecidos en la disposición vial AM-01-2001.



11. CONCLUSIONES

A partir de las visitas y muestreos realizados durante el periodo de Junio a Noviembre del 2016 al proyecto y ensayos de calidad realizados a los diferentes materiales, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

Sobre la calidad del material de subbase

Para el caso de los datos reportados por el LanammeUCR debido a la poca cantidad de muestras no se puede realizar un análisis estadístico para determinar el porcentaje de datos fuera de los límites de la población analizada, pero del análisis de las mallas específicamente, en el malla No 4 se puede observar que hay dos datos que se encuentran por debajo del límite inferior.

El mismo comportamiento se observa en los datos muestreados por el laboratorio de verificación de calidad, LGC. En este caso se cuenta con 6 muestras, que al realizar el análisis estadístico se obtiene un porcentaje fuera de los límites permitidos de 87,0%, el cual es mayor al porcentaje permitido (57%) para ese número de muestras.

Sobre la calidad del material de base estabilizada tipo BE-25

Al comparar los resultados de resistencia a compresión, se evidencia un patrón en la producción de la base estabilizada, ya que tanto para las muestras analizadas en el 2015 como en el 2016 presenta un valor alto en la resistencia a la compresión promedio de la base. Del análisis realizado para los datos del LanammeUCR se determina que el 50% de los valores de resistencia se ubican entre 80 kg/cm² y 130 kg/cm² por lo que se recalca que no es recomendable dar a la capa de base estabilizada un exceso de resistencia, ya que se vuelve susceptible al agrietamiento, con la consecuencia de que las grietas que se forman se reflejarán en las capas de mezcla asfáltica. El exceso de rigidez en base estabilizada, podría afectar el desempeño ya que se presentarían agrietamientos en la capa de rodamiento.

Los datos del laboratorio de verificación de calidad, LGC, pese a ser menores que los datos reportados por esta Auditoría Técnica, son mayores al valor promedio establecido en la especificación del CR-77 de 30 kg/cm², lo que podría provocar problemas de desempeño del proyecto, tal y como se mencionó anteriormente.

Sobre la calidad de la pintura de las vigas de los puentes.

Los valores de espesores de las vigas metálicas de los puentes sobre el río La Vieja y el río Espino presentan espesores en el acabado final de la pintura de protección contra la corrosión de 14,64 mils (371,8 microns) y 14,43 mils (366.5 microns, respectivamente. Esto en comparación con la indicación de los planos para un acabado final (tercera capa) de 16 mils (406.4 microns), evidencia que las piezas metálicas analizadas presentan una pérdida de protección de la última capa de pintura debido a la exposición.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 56 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



Sobre la calidad de los elementos de concreto y los diseños.

Las muestras de cilindros de concreto analizadas para diferentes elementos del proyecto (cunetas, barrera New Jersey y elementos del río Espino) presentan porcentajes de cumplimiento dentro de los valores permitidos por la especificación, de acuerdo al análisis realizado utilizando la sección 106.7 del CR-2002, tanto para los datos del LanammeUCR como para los datos del laboratorio de verificación de calidad.

Sobre el contenido de asfalto de la mezcla convencional y modificada con polímero

Para la mezcla asfáltica convencional se evidencia que dos muestras se ubican fuera de los límites de especificación con relación al contenido de asfalto óptimo (valor meta) requerido en el diseño de mezcla. Asimismo, se denota que la mayoría de los valores se ubican en la zona comprendida entre el valor meta y el límite inferior, en donde tres valores están muy cercanos al límite inferior. Esta situación establece un riesgo latente durante el proceso productivo ya que se puede estimar que el 42% de los valores obtenidos se encuentran fuera de los límites de especificación.

En el caso de la mezcla asfáltica modificada se evidencia que cuatro muestras rebasan el límite inferior de especificación. Además se observa que gran parte de los valores se ubican en la zona comprendida entre el valor meta y el límite inferior, inclusive 4 valores se ubican exactamente en este límite. Esta situación permite estimar que el 55% de los valores obtenidos se encuentran fuera de los límites de especificación lo que es un riesgo potencial durante el proceso productivo, ya que al considerar la variación propia del mismo y encontrarse tan cerca del límite inferior, se podrían generar mayores incumplimientos en este parámetro de contenido de asfalto.

Sobre el análisis granulométrico de mezcla asfáltica convencional y con polímero

De acuerdo con la aplicación de la sección 7.04 "Método de análisis de nivel de calidad-desviación estándar y determinación del factor de pago" del MC-2002 para la mezcla asfáltica convencional y la modificada con polímero todos los resultados de los tamaños granulométricos presentan poca variabilidad en el proceso de producción y se encuentran dentro de los límites especificados.

Sobre el análisis volumétrico de mezcla asfáltica convencional y con polímero

Para el caso de la mezcla convencional 7 de 10 de las muestras ensayadas presenta incumplimientos en los parámetros volumétricos Marshall para aceptación de la mezcla asfáltica a saber: vacíos, vacíos llenos de asfalto (VFA) y en la relación polvo/asfalto. De éstos se observan valores altos en la cantidad de vacíos. En cuanto al parámetro vacíos llenos de asfalto (VFA) se establece que cuatro resultados están por debajo del límite inferior de la especificación. Mientras que siete resultados del parámetro relación polvo/asfalto se encuentran en la parte superior del rango.

En el caso de mezcla asfáltica modificada con polímero 4 de las 9 muestras presentan incumplimientos en el parámetro de contenido de vacíos y VFA, estableciendo una variabilidad en los resultados de estos parámetros del 53% y 50% de los valores están fuera de los límites de la especificación. Por su parte la relación polvo asfalto presenta 2 muestras que incumplen y gran parte de los otros valores se mantienen cercanos al límite superior de especificación, lo que establece una variabilidad del 34% de valores fuera de los límites de la especificación.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 57 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



12. RECOMENDACIONES

A continuación se listan las recomendaciones del informe para que sean consideradas por la Unidad Ejecutora, con el propósito de que se definan e implementen soluciones integrales a éste y futuros proyectos.

Velar por la aplicación de herramientas estadísticas para evaluar tanto el cumplimiento de especificaciones como la variabilidad de los procesos de producción de materiales que se incorporan a las obras, para que de esta forma se aplique el pago en función del nivel de calidad de los materiales.

Y de esta forma garantizar el cumplimiento de las especificaciones y de materiales solicitados tanto en la Disposición Vial como el cartel de licitación, el respectivo contrato y sus adendas para asegurar la calidad del proyecto y el buen uso de los recursos.

Garantizar por la correcta aplicación de la capas de pintura en los elementos estructurales siguiendo la normativa correspondiente. Asimismo, se recomienda asegurar el almacenaje correcto de los elementos metálicos con el fin de aumentar la durabilidad de las piezas.

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 58 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



13. REFERENCIAS

- Unidad de Auditoría Técnica. (2012). *Evaluación de los estudios geotécnicos preliminares, proyecto: Sifón-La Abundancia*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR
- Unidad de Auditoría Técnica. (2015). *LM-AT-014-15 (1/3): Evaluación de los parámetros de desempeño (IRI, FWD, GRIP, APA Y FATIGA) del proyecto de Construcción de la Ruta Nacional No.35 Sección: Sifón-La Abundancia*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR
- Unidad de Auditoría Técnica. (2015). *LM-AT-014-15 (2/3): Evaluación de los materiales granulares, base estabilizada y de la planta de producción y de mezcla asfáltica de la constructora Sánchez Carvajal de la Ruta Nacional No.35 Sección: Sifón-La Abundancia*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR
- Unidad de Auditoría Técnica. (2015). *LM-AT-014-15 (3/3): Evaluación de las prácticas y procesos constructivos de la vía e inspección estructural de los puentes del proyecto de Construcción de la Ruta Nacional No.35 Sección: Sifón- La Abundancia*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Consejo Nacional de Vialidad (2002). *Manual de Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica MC-2002*. Capitulo No 7.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección Nacional de Vialidad (1977). *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica CR-77*. Capitulo No 1 y Capitulo No 3.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección Nacional de Vialidad (2010). *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica CR-2010*.
- Arce, M. (2011). Boletín Técnico PITRA *Bases estabilizadas con cemento. Algunos comentarios sobre sus ventajas e inconvenientes* Vol 2 N° 19. San José, Costa Rica.
- Herrera, E (2011). Boletín Técnico PITRA. *Fatiga en bases estabilizadas*. Vol 2 N° 21. San José, Costa Rica.
- Halsted, G., Luhr, D., & Adaska, W. (2006). *Guide to Cement-Treated Base (CTB)*. Illinois: PCA.
- Publicación técnica. (2012). "Experiencia costarricense en diseño, aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas con cemento". Volumen 1, Número 1, PITRA-LanammeUCR. Montes de Oca

Informe final LM-PI-AT-170-16	Fecha de emisión: Marzo 2017	Página 59 de 60
----------------------------------	------------------------------	-----------------



EQUIPO AUDITOR

Preparado por:
Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo
Auditora Técnica

Preparado por:
Ing. Víctor Hugo Cervantes Calvo
Auditor Técnico

Preparado por:
Ing. Erick Acosta Hernández
Auditor Técnico

Aprobado por:
Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.
Coordinadora Unidad de
Auditoría Técnica PITRA

Aprobado por:
Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D.
Coordinador General PITRA

Visto Bueno de Legalidad:
Lic. Miguel Chacón Alvarado
Asesor Legal Externo
LanammeUCR