



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-014-15
PARTE 2 DE 3

EVALUACIÓN DE MATERIALES GRANULARES, BASE ESTABILIZADA Y DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y DE MEZCLA ASFÁLTICA DE LA CONSTRUCTORA SÁNCHEZ CARVAJAL.

PROYECTO: RUTA NACIONAL NO.35 SECCIÓN: "SIFÓN-LA
ABUNDANCIA".

INFORME FINAL

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica

San José, Costa Rica



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.



Información técnica del documento

1. Informe Informe Final de Auditoría Técnica LM-PI-AT-014-15. Parte 2 de 3	2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: "EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES GRANULARES, BASE ESTABILIZADA Y DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y DE MEZCLA ASFÁLTICA DE LA CONSTRUCTORA SÁNCHEZ CARVAJAL DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA RUTA NACIONAL NO.35 SECCIÓN: SIFÓN-LA ABUNDANCIA. (PARTE 2 DE 3)."	4. Fecha del Informe Febrero, 2016	
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>El objetivo general es realizar una evaluación de los materiales de subbase granular, base estabilizada con cemento y de la planta de producción y de la mezcla asfáltica de la Constructora Sánchez Carvajal, durante los meses de Enero a Agosto de 2015.</p> <p>Sobre la planta de producción de mezcla asfáltica: La planta de producción de asfalto engloba los principales componentes generales requeridos en el cartel, entre ellos tolvas para la combinación de agregados, tambor secador, quemador, control de polución, tanque de almacenamiento del asfalto / combustible, bomba de asfalto, plataforma de pesaje y cabina de control entre otros elementos. Sin embargo, algunos componentes de medición e indicadores de temperatura con que cuenta la planta no se mantienen bajo control metroológico.</p> <p>Sobre el control de agregados: En general el control de agregados se efectúa de acuerdo con lo requerido contractualmente, manteniendo apilamientos de agregados, protección y medición por humedad.</p> <p>Sobre la calidad de la mezcla asfáltica: Se determinan algunos resultados de contenido de asfalto bajos en la mezcla asfáltica modificada con polímero. La mezcla convencional cumple con los límites establecidos. Las curvas granulométricas de la combinación de agregados cumplen la especificación, para ambos tipos de mezcla. Los parámetros volumétricos de porcentaje de vacíos en la mezcla, vacíos llenos de asfalto (VFA) y la relación polvo/asfalto muestran algunos incumplimientos de las especificaciones establecidas para ambos tipos de mezclas analizados.</p> <p>Sobre la calidad del material de subbase: Del análisis estadístico al material de subbase con los datos de control de calidad y el LanammeUCR entre el mes de enero y agosto de 2015, se puede concluir que los resultados de granulometría solicitados en las especificaciones cartelarias, se encuentran por debajo del porcentaje máximo permitido.</p> <p>Sobre la calidad del material de base estabilizada tipo BE-25: Del análisis estadístico al material de base estabilizada con los datos de control de calidad y el LanammeUCR entre el mes de enero y agosto de 2015, 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.</p>		
10. Palabras clave PITRA, Planta asfáltica, Mezcla asfáltica, Diseño de mezcla, Control y Verificación de Calidad, base estabilizada con cemento.	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 53

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

"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 (Parte 2 de 3)"

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

Empresa responsable de verificación de calidad: De enero a octubre de 2015 el Laboratorio del MOPT ejerció la función de verificación de calidad y a partir de octubre el laboratorio de LGC Ingeniería de Pavimentos S.A. fue contratado por el I.C.E. para desempeñar esa labor.

Empresa contratista responsable de la Construcción: Sánchez Carvajal

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

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 910 días adicionales 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. Víctor Cervantes Calvo

Ing. Francisco Fonseca Chaves

Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo

Asesor Legal:

Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

El alcance de esta auditoría técnica se centró en la evaluación de los materiales de subbase granular, base estabilizada con cemento y de la planta de producción y de la mezcla asfáltica de la Constructora Sánchez Carvajal, durante los meses de Enero a Agosto de 2015.

Vistas del proyecto auditado:

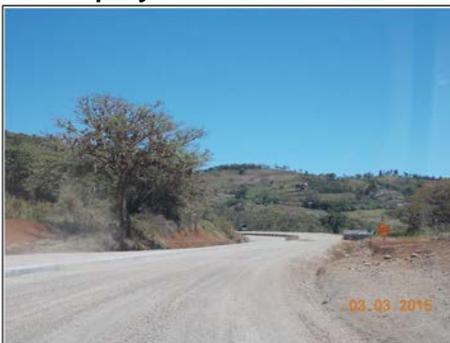


Figura 1. Actividades constructivas realizadas en el proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE FIGURAS.....	5
INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.	6
1. FUNDAMENTACIÓN.....	6
2. ESTRUCTURA GENERAL DEL INFORME	6
3. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS.....	7
4. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR	8
5. RESPONSABLES DEL PROYECTO.....	8
6. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	8
7. ANTECEDENTES DEL INFORME.....	11
8. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	15
8.1. BASE ESTABILIZADA BE-25	16
8.2. PAVIMENTOS BITUMINOSOS MEZCLADOS EN CALIENTE	17
9. MARCO CONCEPTUAL.....	18
9.1. VALORACIÓN ESTADÍSTICA DE LA CALIDAD DEL TRABAJO REALIZADO.....	18
9.2. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA BE-25	19
10. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-014B-15.	21
11. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	22
11.1. SOBRE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA	22
11.2. SOBRE EL CONTROL DE AGREGADOS.....	28
11.3. SOBRE LA GESTIÓN AMBIENTAL.....	29
11.4. SOBRE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA	30
11.5. SOBRE LA CALIDAD DEL MATERIAL GRANULAR PARA LA CAPA DE SUBBASE.....	45
11.6. SOBRE LA CALIDAD DEL MATERIAL DE BASE ESTABILIZADA TIPO BE-25 DEL PROYECTO.	47
12. CONCLUSIONES	51
13. RECOMENDACIONES.....	52
14. REFERENCIAS.....	52

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DETALLE DE LOS MUESTREOS DE MATERIAL DE SUBBASE REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR.	9
TABLA 2. DETALLE DE LOS MUESTREOS DE MATERIAL DE BE REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR.	9
TABLA 3. DETALLE DE LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.	10
TABLA 4. RESUMEN DE CORRESPONDENCIA DURANTE EL PROCESO DE AUDITORÍA TÉCNICA.	12
TABLA 5. RESUMEN DE INFORMACIÓN DISCUTIDA EN LA REUNIÓN DEL 28/01/2015.	13
TABLA 6. RESUMEN DE LA INFORMACIÓN SOLICITADA DURANTE LA REUNIÓN DEL 09-09-2015.	14
TABLA 7. SECCIÓN TÍPICA EJE PRINCIPAL DEL PROYECTO.	16
TABLA 8. TIPOS DE AGRIETAMIENTO ASOCIADOS A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS.	20
TABLA 9. DETALLE DE LOS CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN APORTADOS MEDIANTE OFICIO GCVP-28-15-342 ...	26
TABLA 10. RESULTADOS REPORTADOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DEL LANAMMEUCR	31
TABLA 11. RESULTADOS REPORTADOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DEL LANAMMEUCR	34
TABLA 12. RESULTADOS REPORTADOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DEL LANAMMEUCR	36
TABLA 13. DETERMINACIÓN DE LA VARIABILIDAD Y CUMPLIMIENTO DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS.	37
TABLA 14. RESULTADOS REPORTADOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DEL LANAMMEUCR	38
TABLA 15. DETERMINACIÓN DE LA VARIABILIDAD Y CUMPLIMIENTO DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS.	39
TABLA 16. ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.	40
TABLA 17. RESULTADOS DE ENSAYO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.	41
TABLA 18. RESULTADOS DE ENSAYO DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO.	43
TABLA 19. RESUMEN DE MUESTRAS ENSAYADAS DE SUBBASE GRANULAR POR EL LANAMMEUCR.	45
TABLA 20. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADO PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD OJM, PARA SUBBASE.	46
TABLA 21. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADO PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR PARA CILINDROS DE BASE ESTABILIZADA.	48
TABLA 22. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADO PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL CONTROL DE CALIDAD PARA CILINDROS DE BASE ESTABILIZADA.	50

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS REALIZADAS EN EL PROYECTO.	3
FIGURA 2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.	15
FIGURA 3. INCONSISTENCIAS EN EL CERTIFICADO DE LA ROMANA CAMIONERA.	27
FIGURA 4. GRÁFICO DE LOS RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	32
FIGURA 5. GRÁFICO DE LOS RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	34
FIGURA 6. RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	35
FIGURA 7. RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	38
FIGURA 8. RESULTADOS DE VOLUMETRÍA EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	42
FIGURA 9. RESULTADOS DE VOLUMETRÍA EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	44
FIGURA 10. CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE MUESTRAS DE SUB BASE GRANULAR ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	46
FIGURA 11. CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE MUESTRAS DE SUB BASE GRANULAR ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR.	47
FIGURA 12. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BE-25 ENSAYADOS POR LANAMMEUCR.	49
FIGURA 13. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BE-25 ENSAYADOS POR CONTROL DE CALIDAD.	50

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA. EVALUACIÓN DE MATERIALES GRANULARES, BASE ESTABILIZADA Y DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y DE MEZCLA ASFÁLTICA DE LA CONSTRUCTORA SÁNCHEZ CARVAJAL.

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. ESTRUCTURA GENERAL DEL INFORME

Este informe corresponde a la segunda entrega de un compendio de tres volúmenes que se desarrollaron a raíz de la Auditoría Técnica realizada al proyecto Ruta Nacional No.35 Sección: "Sifón-La Abundancia". En cada una de las partes se examina un tema específico relacionado con el desarrollo del proyecto, según se detalla a continuación:

- PRIMERA PARTE: “Evaluación de los parámetros de desempeño (IRI, FWD y GRIP) del proyecto.”
- **SEGUNDA PARTE: “Evaluación de los materiales de granulares, base estabilizada con cemento, la mezcla asfáltica y de la planta de producción de la Constructora Sánchez Carvajal”**
- TERCERA PARTE: “Evaluación de las prácticas y procesos constructivos de la vía e inspección estructural de los puentes del proyecto.”

3. 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.

El estudio que realiza esta auditoría consiste en el análisis de muestras de material de subbase y base estabilizada (BE-25) y mezcla asfáltica producida en el periodo comprendido entre el mes de enero a agosto de 2015. La evaluación de la planta se realiza durante el mes de enero al mes de agosto del presente año.

Objetivo General del Informe de Auditoría Técnica

El objetivo de este informe es valorar los parámetros de calidad establecidos para el material de subbase, base estabilizada (BE-25) y la mezcla asfáltica utilizada en el proyecto. Además se evalúan aspectos generales concernientes a la planta de producción, de conformidad con lo que se establece en las especificaciones contractuales y las prácticas ordinarias para la manufactura de mezcla asfáltica.

Objetivos Específicos del Informe de Auditoría Técnica

- Evaluar los parámetros de calidad establecidos para el material de subbase, granulometría, tanto para las muestras del LanammeUCR, como del laboratorio de Control de Calidad.
- Evaluar la resistencia a la compresión de cilindros de base estabilizada (BE-25), tanto para las muestras del LanammeUCR, como del laboratorio de Control de Calidad
- Evaluar los parámetros de calidad establecidos para la mezcla asfáltica utilizada en el proyecto.
- Evaluar aspectos generales concernientes a la planta de producción, de conformidad con lo que se establece en las especificaciones contractuales y las prácticas ordinarias para la manufactura de mezcla asfáltica.

4. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR

A continuación se describe el equipo auditor que desarrolló la segunda entrega del informe LM-PI-AT-014-2015 (Parte 2 de 3)

Unidad de Auditoría Técnica

- Ing. Ana Hidalgo Arroyo, (Auditora Técnica Líder)
- Ing. Víctor Hugo Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
- Ing. Francisco Fonseca Chaves (Auditor Técnico)
- Ing. Wendy Sequeira Rojas, Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica

Asesor Legal

- Lic. Miguel Chacón Alvarado.

5. RESPONSABLES DEL PROYECTO

- Entidad ejecutora del contrato: Unidad Ejecutora, CONAVI : Ing. Pablo Torres Morales, Director Unidad Ejecutora.
- Laboratorio de Verificación de Calidad: De enero a octubre de 2015 el Laboratorio del MOPT ejerció la función de verificación de calidad y a partir de octubre el laboratorio de LGC Ingeniería de Pavimentos S.A. fue contratado por el I.C.E. para desempeñar esa labor.

Responsables por parte de la empresa constructora:

- Contratista: La empresa contratista es la empresa constructora Sánchez Carvajal.
- Laboratorio de Autocontrol de Calidad: El laboratorio de autocontrol es OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A., que es la empresa encargada de efectuar los ensayos de control de calidad a los materiales y procesos constructivos que realiza el Contratista en este proyecto.

6. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

La fiscalización que realiza la Auditoría Técnica del LanammeUCR es un proceso independiente, basado en normas y procedimientos establecidos, aplicando criterios objetivos en procura de lograr el cumplimiento del alcance y los objetivos definidos para cada uno de los estudios desarrollados. Este proceso no limita a que algunas actividades puedan realizarse en conjunto con el auditado.

Este informe se efectuó siguiendo los procedimientos de auditoría técnica, mediante la revisión de la documentación del proyecto, la verificación del proceso constructivo mediante visitas al sitio, la realización de ensayos y análisis de datos.

Es importante aclarar que la toma de muestras por parte de la Auditoría Técnica dentro del proceso de fiscalización, no tiene como finalidad cumplir la función del autocontrol ni la

Informe Final LM-PI-AT-14-15	Fecha de emisión: Febrero 2016	Página 8 de 53
---------------------------------	--------------------------------	----------------

verificación de calidad, por lo que la información aportada no constituye un dictamen final de la calidad, sino un insumo para que la Administración analice los resultados obtenidos por el LanammeUCR y tenga una referencia en el orden de magnitud de los parámetros analizados.

Durante el proceso de auditoría realizado por la Auditoría Técnica del LanammeUCR se realizaron muestreos de subbase y base estabilizada tipo BE-25 entre los meses de enero y agosto del 2015. Posteriormente, para 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 la Tabla 1 se resumen 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-0358-15	0653-15	10+340	10/03/2015
I-0695-15	0653-15	10+340	10/03/2015
I-0505-15	0819-15	11+060	24/03/2015
I-0676-15	0819-15	11+060	24/03/2015
I-0873-15	1221-15	12+730	12/05/2015
I-0693-15	1221-15	12+730	15/05/2015

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

Informe	Muestra	Est.	Fecha Muestreo
I-0411-15	0069-15	32+650	15/01/2015
I-0412-15	0074-15	32+670	15/01/2015
I-0413-15	0081-15	32+820	15/01/2015
I-0414-15	0169-15	34+090	22/01/2015
I-0415-15	0171-15	34+110	22/01/2015
I-0416-15	0376-15	33+700	10/02/2015
I-0417-15	0378-15	33+710	10/02/2015
I-0418-15	0380-15	33+655	11/02/2015
I-0419-15	0658-15	39+200	11/03/2015
I-0420-15	0660-15	39+205	11/03/2015
I-0421-15	0739-15	10+160	19/03/2015
I-0422-15	0741-15	10+180	19/03/2015
I-0445-15	0738-15	-	18/03/2015
I-0456-15	0815-15	10+170	24/03/2015
I-0457-15	0817-15	10+180	24/03/2015
I-0497-15	0860-15	11+000	09/04/2015
I-0497-15	0862-15	11+010	09/04/2015
I-0618-15	1014-15	11+790	21/04/2015
I-0618-15	1016-15	11+800	21/04/2015
I-0867-15	1223-15	12+470	14/05/2015
I-0867-15	1224-15	12+460	14/05/2015
I-0867-15	1225-15	12+470	14/05/2015
I-0867-15	1226-15	12+460	14/05/2015
I-0867-15	1227-15	12+470	14/05/2015
I-0867-15	1228-15	12+460	14/05/2015
I-0879-15	1349-15	25+040	27/05/2015
I-0879-15	1352-15	25+050	27/05/2015
I-0879-15	1353-15	16+045	28/05/2015

I-0879-15	1355-15	16+055	28/05/2015
I-0886-15	1462-15	24+560	09/06/2015
I-0886-15	1464-15	24+590	09/06/2015
I-0886-15	1466-15	25+970	11/06/2015
I-0886-15	1468-15	25+980	11/06/2015
I-1118-15	1873-15	24+090	05/08/2015
I-1118-15	1875-15	24+100	05/08/2015

Se visitaron las instalaciones de la planta asfáltica o frentes de trabajo durante los meses de enero a agosto de 2015 y durante este periodo se tomaron muestras de la mezcla asfáltica producida (mezcla convencional y mezcla modificada con polímero), como se detalla en la Tabla 3, 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.

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 en caliente tomadas y se especifica el lugar correspondiente al punto donde se tomó la muestra.

Tabla 3. Detalle de los muestreos de mezcla asfáltica en caliente.

	Muestra	Fecha	Tipo de Mezcla	Informe asociado
1	M-0066-15	13/01/2015	Convencional	I-0081-15
2	M-0066-15	13/01/2015	Convencional	I-0082-15
3	M-0373-15	10/02/2015	Convencional	I-0532-15
4	M-0374-15	10/02/2015	Convencional	I-0532-15
5	M-0511-15	24/02/2015	Convencional	I-0601-15
6	M-0512-15	25/02/2015	Convencional	I-0601-15
7	M-0866-15	07/04/2015	Convencional	I-0778-15
8	M-0869-15	09/04/2015	Convencional	I-0778-15
9	M-1018-15	21/04/2015	Convencional	I-0785-15
10	M-1237-15	14/05/2015	Convencional	I-0822-15
11	M-1472-15	10/06/2015	Convencional	I-0927-15
12	M-1474-15	11/06/2015	Convencional	I-0927-15
13	M-1756-15	23/07/2015	Convencional	I-1083-15
14	M-1871-15	04/08/2015	Convencional	I-1163-15
15	M-1872-15	05/08/2015	Convencional	I-1163-15
16	M-1872-15	05/08/2015	Convencional	I-1212-15
17	M-0654-15	10/03/2015	Modificada	I-0731-15
18	M-0662-15	13/03/2015	Modificada	I-0731-15
19	M-0735-15	17/03/2015	Modificada	I-0669-15
20	M-0737-15	18/03/2015	Modificada	I-0669-15
21	M-0820-15	26/03/2015	Modificada	I-0689-15
22	M-0821-15	26/03/2015	Modificada	I-0689-15
23	M-1019-15	21/04/2015	Modificada	I-0786-15
24	M-1222-15	12/05/2015	Modificada	I-0806-15
25	M-1236-15	13/05/2015	Modificada	I-0806-15
26	M-1357-15	27/05/2015	Modificada	I-0855-15
27	M-1359-15	28/05/2015	Modificada	I-0855-15
28	M-1360-15	27/05/2015	Modificada	I-0855-15
29	M-1471-15	09/06/2015	Modificada	I-0927-15



30	M-1994-15	19/08/2015	Modificada	I-1233-15
31	M-2174-15	08/09/2015	Modificada	I-1347-15

• INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE MEZCLA ASFALTICA

La planta de producción de mezcla asfáltica es de tipo discontinuo, marca Standard modelo RM40A.

El laboratorio contratado por el contratista para realizar las actividades de control de calidad es el laboratorio OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A. (en adelante OJM) que tiene unas instalaciones en el proyecto, para realizar los ensayos Marshall a la mezcla asfáltica y contenido de asfalto.

7. ANTECEDENTES DEL INFORME

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

A continuación se presenta la Tabla 4, donde se resumen las principales comunicaciones y oficios durante el periodo de la auditoría técnica.

Tabla 4. Resumen de correspondencia durante el proceso de auditoría técnica

Número de Oficio	Fecha	Asunto	Respuesta de la Administración
LM-AT-083-14	24/07/2014	Solicitud de: -Estimaciones de pago y reajustes. -OM-14 en adelante y OS. -Adenda N°3 -Control y Verificación de Calidad. -Especificaciones técnicas. Programa de trabajo.	-
LM-AT-107-14	6/10/2014	Solicitud de: -Diseño de BE -Diseño de MAC -Diseño de pavimento -Especificaciones especiales materiales. -Programa de trabajo	GCVP-PSC-14-425
LM-AT-118-14	30/10/2014	Prácticas constructivas: -Colocación de imprimación. -Colocación de riego de liga.	-
LM-AT-121-14	04/11/2014	Resultado de cilindros de BE	-
LM-AT-127-14	02/12/2015	Solicitud de información: -Estudio de Tránsito del proyecto. -Diseño de mezcla. -Mezcla asfáltica producida. -Diseño estructural del pavimento	-
LM-AT-132-14	15/12/2014	Adherencia en núcleos extraídos	-
LM-AT-022-15	28/01/2015	Resultados de resistencia a la compresión de BE	*
LM-AT-023-15	28/01/2015	Resultados de IRI	*
LM-AT-024-15	28/01/2015	Solicitud de información: -Memorias de cálculo y planos de puentes. -Especificaciones y normativa puentes. -Estudios preliminares puentes. -Diseño estructural baranda tipo New Jersey. -Estimaciones de pago y reajustes -Informes de control y verificación de calidad.	*
LM-AT-028-15	02/02/2015	Acuerdos tomados el día de la reunión 28/01/2015 en San Ramón	*
LM-AT-071-15	03/06/2015	Solicitud certificados de calibración de la planta.	GCPV-PSC-28-15-342
LM-AT-077-15	21/05/2015	Cálculo de IRI	*
LM-AT-078-15	21/05/2015	Aspectos constructivos y de buenas prácticas -Sobre la falta de supervisión en obra. -Sobre el riego de liga	*
LM-AT-082-15	02/06/2015	Resultados de desempeño de la MAC	*
LM-AT-093-15	09/07/2015	Respuesta a la GCR N°09569	-
LM-AT-103-15	06/08/2015	Solicitud de información -Oficios relacionados con la Adenda N°6 y 7 -Descriptivas de las estimaciones de pago	*

- No se recibe respuesta por parte de la Administración.

* No se solicita respuesta de la Administración.

El día 28 de enero de 2015, se llevó a cabo una reunión celebrada en la oficina de la Unidad Ejecutora del proyecto Sifón-La Abundancia, en esta se entregó a esta Auditoría Técnica parte de la información solicitada vía oficios. A continuación se presenta en la Tabla 5 un resumen con la información entregada y la pendiente.

Tabla 5. Resumen de información discutida en la reunión del 28/01/2015.

Información solicitada	Oficio de referencia	Estado
Memorias de cálculo y planos de los diseños estructurales de los puentes y pasos a desnivel del proyecto (última versión aprobada).	LM-AT-024-15 28/01/2015	- Se entregó en la reunión información de memoria de diseño y Láminas del puente sobre el río Espino. Adicionalmente se entregó láminas del puente San Cristóbal. Está pendiente la información del resto de puentes y pasos a desnivel.
Especificaciones técnicas y normativa de los puentes.	LM-AT-024-15 28/01/2015	Se entregó en la reunión
Diseño estructural, nivel de contención, planos de instalación, resistencia del concreto y otras especificaciones técnicas sobre la barrera separadora rígida tipo "New Jersey".	LM-AT-024-15 28/01/2015	Pendiente al 28-01-2015
Estudios preliminares realizados para el diseño de los puentes	LM-AT-024-15 28/01/2015	Se entregó en la reunión información sobre estudios Geofísicos y Geológicos de los puentes. Y el análisis por parte de Vieto de un diagnóstico geotécnico del puente quebrada Laguna presentado por Geomeca Consultores Geomecánicos.
Estimaciones de pago y reajustes actualizados a la fecha	LM-AT-024-15 28/01/2015	Se acordó realizar visitas periódicas a la oficina de la Unidad Ejecutora en San Ramón para escanear dicha información.
Informes de control y verificación de calidad de los materiales.	LM-AT-024-15 28/01/2015	Se acordó realizar visitas periódicas para escanear dicha información.

Posteriormente, se realizó una reunión el día 09 de septiembre de 2015, donde al igual que en el caso anterior en esta se entregó a esta Auditoría Técnica parte de la información solicitada vía oficios. A continuación se presenta en la Tabla 6 un resumen con la información entregada y la pendiente:

Tabla 6. Resumen de la información solicitada durante la reunión del 09-09-2015

Información solicitada	Estado
Certificados de Calibración de la planta	Entregados
Control de Calidad	Entregados vía correo electrónico 10/09/2015 por el Ing. Gustavo Bolaños.
Estimaciones y reajustes de pago a partir de la 108	Se escanearon los documentos durante la reunión.
Diseño de la barrera separadora	Entregado vía correo electrónico los días 27/10/2015 y 03/11/2015
Sobre prácticas y procesos constructivos	Se discutió en la reunión sobre el sello de imprimación en la base estabilizada, el riego de liga entre la capa de base y mezcla asfáltica y sobre los valores de resistencia a la compresión de base estabilizada e IRI.
Cronograma de trabajo	
Fecha de finalización	Entregado vía correo electrónico 27/10/2015
Porcentaje de avance de obra	

NORMATIVA VIGENTE

El proyecto considera en el contrato que la regulación vigente para este proyecto es el CR-77 "Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes" y el MC-83 "Manual de Construcción para Caminos, carreteras y puentes"; sin embargo en el año 2014 el CONAVI y el contratista suscribieron las adendas 6 y 7 al contrato, en donde se estableció como parte integrante de los documentos del contrato y de acatamiento obligatorio para las partes el Manual de Construcción para caminos, carreteras y puentes MC-2002.

Dicho documento establece en 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, ante la inexistencia en el CR-77 y el MC-83 de una metodología para análisis estadístico de los materiales analizados a saber: préstamo, base estabilizada, mezcla asfáltica, se aplica la metodología de análisis establecida en el MC-2002 para determinar el nivel de calidad con relación a las especificaciones, el grado de aceptabilidad y el factor de ajuste de pago asociado.

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 dió 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 2 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.

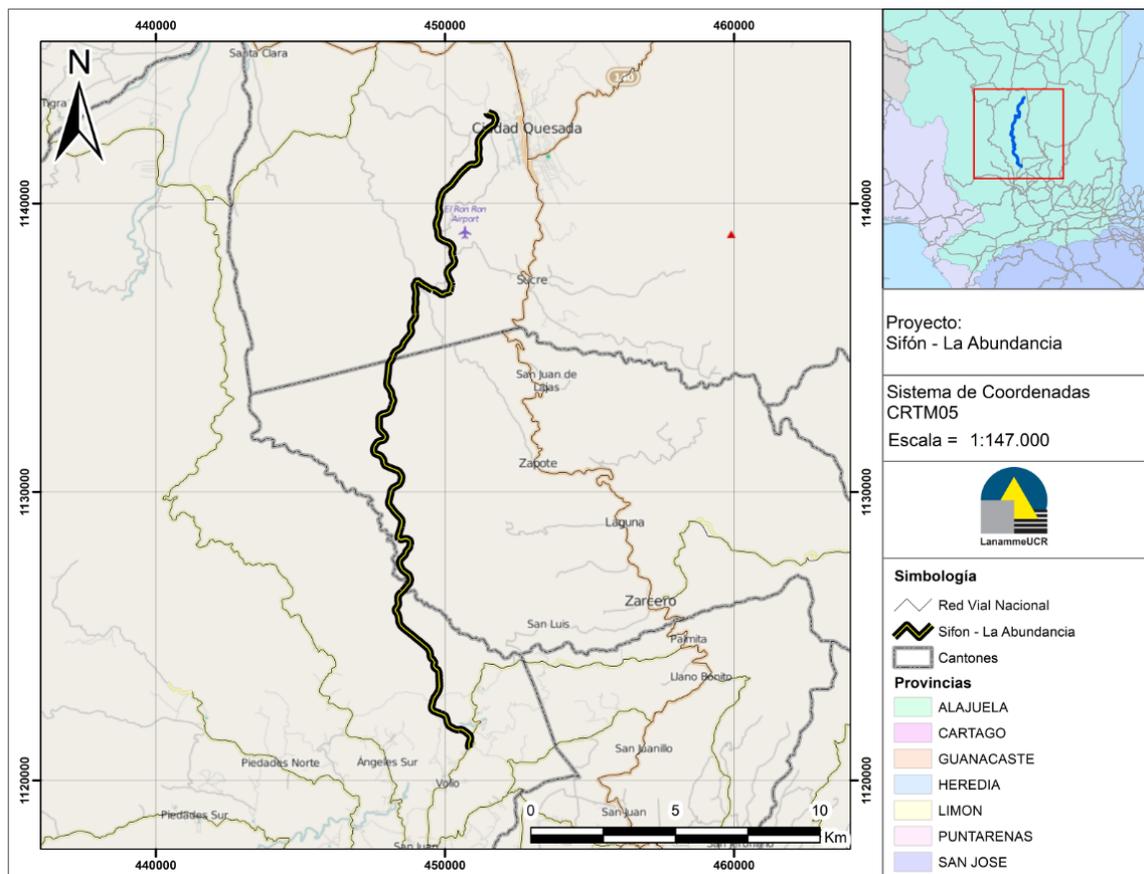


Figura 2. Localización del proyecto.

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 7). 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 7. 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. BASE ESTABILIZADA BE-25

Los requerimientos para el material de base estabilizada en la sección 308.02 del CR-77 en donde indica que los agregados para bases tratadas con cemento, deberán consistir en partículas duras y durables de escorias, piedras, gravas, pizarras, tobos o lastres terminados o triturados para obtener la graduación que se indica a continuación:

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

8.2. 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

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

a) *Agregado grueso*: El agregado grueso (retenido en el tamiz N°4) deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Porcentaje de desgaste (Prueba de abrasión de Los Ángeles): menor o igual 40%.
- Pérdida por sanidad, menor o igual a 15 % (sulfato de sodio).
- Índice de durabilidad, mayor o igual a 35 %.
- Porcentaje de caras fracturadas (ruedo) 95% una o más caras/90 dos o más caras.
- Porcentaje por peso de partículas planas o alargadas, máximo 10%.
- Contenido de arcilla o partículas friables, menor o igual a 2%.

b) *Agregado fino*: fracción granulométrica que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4). No se permite en ningún caso el uso de arena natural, deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Índice de durabilidad, mayor o igual a 35 %.
- Equivalente de arena, mayor o igual a 50 %.
- Pérdida por sanidad, menor o igual a 15 % (sulfato de sodio).
- Porcentaje de desgaste (Prueba de abrasión de Los Ángeles): menor o igual 40%.

9. MARCO CONCEPTUAL

9.1. VALORACIÓN ESTADÍSTICA DE LA CALIDAD DEL TRABAJO REALIZADO.

La aplicación de herramientas estadísticas para el análisis de los ensayos de calidad es una actividad fundamental en cualquier proceso productivo, para predecir el nivel de calidad del producto, corregir y prevenir desviaciones y mejorar la eficiencia y eficacia del proceso de producción. Las herramientas estadísticas de control de procesos evalúan no sólo los resultados fuera de los límites de especificación, sino también la variabilidad del proceso, la cual puede aumentar la probabilidad de que la totalidad del producto no cumpla con el nivel de calidad establecido por las especificaciones como resultado de la variabilidad inherente del proceso.

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 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 establece como un 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 (C_s y C_i) son estimadores del sesgo de los datos analizados con respecto al valor meta y los límites permitidos por el rango de especificación; son indicadores de la variabilidad existente en el conjunto de datos analizados.

Los índices de calidad se calculan para cada uno de los ensayos que se van a analizar, luego se obtiene para cada uno el porcentaje de datos fuera de los límites de especificación (PT), aplicando 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).

Como parte del procedimiento se utilizarán las siguientes abreviaturas en el presente informe:

- LSE: Límite superior
- LIE: Límite inferior
- Prom: Promedio
- Desv: Desviación estándar
- Cs: Índice de calidad superior
- Ci: Índice de calidad inferior
- PT: Porcentaje de datos fuera de los límites de especificación

9.2. 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.

En este oficio se expresa que de acuerdo con lo establecido en la sección del CR-77 antes mencionada, se establece que la totalidad de los resultados de ensayo de resistencia a la compresión de bases estabilizadas BE-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 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.

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

Por ejemplo, utilizando la metodología 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-014-15), 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).

Informe Final LM-PI-AT-14-15	Fecha de emisión: Febrero 2016	Página 19 de 53
---------------------------------	--------------------------------	-----------------

Cabe destacar que el análisis propuesto parte del supuesto de que los datos se comportarán de acuerdo con una distribución normal, lo que permite inferir un límite máximo aceptable, que aunque no esté especificado de forma explícita, es conocido que debe controlarse debido a los problemas de fisuración por contracción que pueden tener las bases estabilizadas con cemento.

No es recomendable dar a la capa de base estabilizada un exceso de resistencia, debido a que 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 8. 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 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 determinación 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 extraídos de la capa de base estabilizada 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.

10. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-014B-15.

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-150-15 del 03 de diciembre del 2015 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-014B-15, partes 1, 2 y 3, 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 14 de diciembre a las 9:00 am en las instalaciones del LanammeUCR en donde se realizó la presentación del informe LM-PI-AT-014B-15 en su versión preliminar y en la que participaron los ingenieros Ing. Abraham Sánchez Castro, Ing. Gustavo Bolaños Leandro, el Ing. Pablo Torres Morales e Ing. Rafael Magaña Aguilar de parte del CONAVI. También se presentaron por parte del ICE el Ing. Abel Rivera Hernández y Rafael Ugalde Sanabria. Así como los auditores encargados del informe Ing. Erick Acosta, Ing. Emilio Corrales, Ing. Victor Cervantes, el Ing. Francisco Fonseca y la Ing. Ana Elena Hidalgo, la coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica-PITRA LanammeUCR, Ing. Wendy Sequeira Rojas.

Asimismo, a solicitud del auditado, el día 11 de enero del 2015 a las 9:00am se realiza en las instalaciones del LanammeUCR una reunión con miembros de la Unidad Ejecutora del proyecto de CONAVI, miembros de la supervisión a cargo de ICE, personal de la empresa constructora Sánchez Carvajal y el equipo auditor. En esta reunión se discuten punto a punto las observaciones del auditado y del contratista sobre el informe LM-PI-AT-014B-15.

El día 19 de enero de 2015, se recibe el oficio GCVP-PSC-16-011-28 remitido por el director del proyecto, Ing. Pablo Torres, donde la dirección del proyecto y la empresa contratista, Sánchez Carvajal, remiten las observaciones generadas a partir de la presentación y entrega del informe LM-PI-AT-014B-15.

Por lo tanto, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, una vez analizado el documento en mención y considerando la evidencia presentada, se procede a emitir el informe LM-PI-AT-014-15 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley.

Informe Final LM-PI-AT-14-15	Fecha de emisión: Febrero 2016	Página 21 de 53
---------------------------------	--------------------------------	-----------------

11. 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.

11.1. SOBRE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

El monitoreo del proceso de producción, como parte del proceso de control de calidad, mediante la comparación de los resultados de los ensayos que se ejecutan con las especificaciones y la fórmula de trabajo, se realiza con el propósito de detectar posibles variaciones del proceso productivo que permitan efectuar modificaciones o ajustes correctivos, además, que habilita en algunas situaciones evaluar o reformular el diseño de la mezcla asfáltica utilizada en el proceso de pavimentación.

Hallazgo N° 1: La planta de asfalto cumple todas las condiciones generales requeridas en los documentos contractuales.

Durante la visita realizada durante el mes de abril del presente año, el equipo de auditoría efectuó una evaluación general de las condiciones de la planta de la Constructora Sánchez Carvajal ubicada en Buena Vista, con el propósito de valorar las condiciones y los requisitos mínimos solicitados en la disposición general vigente AM-03-2001.

Componentes generales

Está conformada por tolvas de alimentación de agregado en frío, fajas transportadoras, criba con vibración, silo de almacenaje, sistema colector de polvo, tanques de almacenamiento del asfalto / combustible, bomba de asfalto y cabina de control entre otros elementos. En las Fotografía 1 a la 7 se muestra el detalle de cada uno de los diferentes componentes mencionados.

Informe Final LM-PI-AT-14-15	Fecha de emisión: Febrero 2016	Página 22 de 53
---------------------------------	--------------------------------	-----------------

Se mantienen dos tolvas individuales para la alimentación del agregado en frío, cuando se requieren tres como mínimo según lo indica la Disposición Vial AM-03-2001, provistas de un mecanismo automático de control para la alimentación y combinación de los agregados en frío, una para cada apilamiento de agregado utilizado en la producción de mezcla. Sin embargo, al ser una planta discontinua, cuenta con un consiguiente sistema de separación de agregados en caliente el que se realiza mediante 3 tamaños de tamices, clasificando los agregados en gruesos, intermedios y finos. Por tanto, esta Auditoría no considera esto como un incumplimiento por parte del Contratista.

En cuanto a la cabina de control se observa que cuenta con dispositivos automáticos y pantallas digitales para el control y monitoreo de la producción de la mezcla asfáltica, tales como control de pesos de agregados y control de peso de asfalto. Adicional a estos dispositivos, se cuenta con equipo para la medición de la temperatura de asfalto, dispositivos para el ajuste en la dosificación de asfalto y velocidad de producción por humedad de los agregados, indicadores de temperaturas en el tambor mezclador y secador, del cemento asfáltico y de la llama del quemador, entre otros controles (Fotografías 3 y 4).

Los restantes componentes vistos durante la visita a la planta productora de mezcla asfáltica tales como fajas transportadoras, tambor secador, quemador, caja de pesaje, cámara de mezclado, sistema de tratamiento de finos (ciclones) / colector de polvo, tanques de almacenamiento del asfalto / combustible y bomba de asfalto se observaron que se mantienen en condiciones normales de operación, sin ninguna desviación o alteración.

La planta cuenta con un sistema de pesaje automático que posee varias celdas de carga, un detalle de estos componentes se muestra en la Fotografía 7. El análisis de la revisión de las calibraciones de este sistema de pesaje se analizan más adelante.

Para la producción de mezcla asfáltica con aditivo, se cuenta con un sistema para realizar la dosificación del polímero almacenado en presentación líquida. El sistema de dosificación consiste de un recipiente de almacenamiento de polímero, asimismo de un sistema de bombeo (Ver Fotografía 8), que adiciona una cantidad de polímero a la cámara de mezclado en caliente. Sin embargo, en la ficha técnica, el distribuidor del producto recomienda que el asfalto sea modificado antes de ser adicionado a los agregados mediante un proceso mecanizado que permita una adecuada disolución del producto en el asfalto.

Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Disposición Vial AM-03-2001 Actualización de Manuales de la Administración.



Fotografía 1. Vista generales de los componentes principales de la planta



Fotografía 2. Tanques de asfalto



Fotografía 3. Cabina de Control



Fotografía 4. Celdas de pesaje

<p>Fotografía 5. Tolvas de alimentación en frío con dos compartimientos</p>	<p>Fotografía 6. Banda transportadora de agregados combinados</p>
<p>Fotografía 7. Celda de carga de la plataforma de pesaje</p>	<p>Fotografía 8. Dispositivo medidor de caudal para la adición de polímero para modificación de la mezcla asfáltica</p>

Hallazgo N° 2: No se pudo evidenciar que varios componentes de la planta de asfalto del proyecto se encuentren bajo un adecuado control metrológico según lo estipulado en la documentación contractual.

Según disposición general vigente AM-03-2001 se debe de tener en la cabina de control los certificados de calibración de los elementos sensores de peso, temperatura y flujo. Durante la visita del equipo auditor, realizada el día 22 de abril de 2015, a las instalaciones de la planta, se solicitó la documentación pertinente a las actividades de control metrológico de equipo termométrico, medidor de presiones, sistema de pesaje (básculas o celdas de carga), entre otros, al personal de la planta. Durante la visita no fue aportada la documentación respectiva.

Luego mediante oficio LM-AT-71-2015 del 3 de junio de 2015 se solicitaron "Los certificados de calibración de los elementos sensores de peso, temperatura de la planta de producción de mezcla asfáltica entre los que se incluyen los certificados de las termocuplas de control de temperatura de gases, chimenea, de mezcla a la salida de la planta así como los

certificados de peso de la romana camionera, todo esto según AM-03-2001". El 12 de agosto de 2015 mediante oficio GCVP-28-15-342 se reciben los certificados de calibración de diferentes componentes de la planta asfáltica que se detallan en la Tabla 9.

A pesar de que se aporta evidencia de que los equipos fueron calibrados recientemente, las fechas de los certificados aportados, posteriores a la fecha de emisión de la solicitud de los mismos (3 de Junio de 2015), permite considerar que no se mantiene un plan de control metrológico que se practique de manera periódica.

Se advierte en los certificados aportados para la planta de Buena Vista en el apartado de ubicación, que las actividades de calibración se realizaron en "Planta asfalto Pital", la cual corresponde efectivamente a otro proyecto. Por lo tanto, estos certificados no se consideran dentro del presente análisis.

Otro aspecto a destacar consiste que en varios de los certificados el equipo al que se hace referencia no está debidamente referenciado, tales como los equipos termométricos en donde solamente se indica la identificación de los termómetros (Ter 3, Ter 4 y Ter 5) sin indicar su ubicación, tal como sucede con el caso de los termómetros marca Winters¹ que podría ser el del tanque del bunker o de la chimenea de gases, pero como no se indica cual es su posición, no se tiene certeza de cuál lugar corresponde a cada termómetro.

Tabla 9. Detalle de los Certificados de Calibración aportados mediante oficio GCVP-28-15-342

Componente	Fecha de calibración	Próxima calibración	Número de certificado	Capacidad máxima
Bascula Camionera	23/07/2015	-	CP-20150723-01DL	400- 50 000 kg
Termómetro Ter 3	18/06/2015	Junio 2016	Certificado MC-CC-15-06-132H	10 a 260 °C
Termómetro Ter 4	18/06/2015	Junio 2016	Certificado MC-CC-15-06-133H	10 a 260 °C
Termómetro Ter 5	18/06/2015	Junio 2016	Certificado MC-CC-15-06-134H	NI
Termómetro del tanque de asfalto	18/06/2015	Junio 2016	Certificado MC-CC-15-06-135H	0 a 300 °C
Termómetro del agregado	18/06/2015	Junio 2016	Certificado MC-CC-15-06-136H	70 a 400 °C

El certificado de la balanza camionera CP-20150723-01DL presenta una inconsistencia ya que indica que la capacidad nominal es de 80 000 kg en la constancia de peso, pero en el certificado indica que la capacidad es de 60 000 kg. Si bien lo señalado no afecta técnicamente las mediciones realizadas, si es recomendable que la información contenida en los certificados sea revisada y considerada como una herramienta que permite coadyuvar con la correcta operación de la planta, y no sean considerados únicamente como un documento que es requisito de obligado cumplimiento.

¹ Certificados de calibración MC-CC-15-06-132H y MC-CC-15-06-133H.

Objeto de comprobación	Báscula Camionera	
Marca / Fabricante	Fairbanks Scales	
Capacidad Nominal	80 000 kg	
División de Escala	10 kg	
Serie / Identificación	40090200097	
Lugar de la comprobación	San Carlos, Alajuela	

<p>La Casa de la R</p> <p>Hace constar que, la báscula camionera con indicador</p> <p>Marca: Fairbanks Scales M</p> <p>Capacidad: 60 000 kg Se</p> <p>Nº Constancia: CP-20150723-01DL</p> <p>Fue revisada el: 23 de Julio de 2015</p> <p>Las pruebas de pesaje realizadas fueron satisfactorias.</p>		
---	--	--

Figura 3. Inconsistencias en el Certificado de la Romana Camionera.

Cabe mencionar que los certificados de calibración de los equipos no son sólo un requisito, si no que brindan importante información para que el operador de la planta conozca las desviaciones de medición que pueden tener los equipos de medición, con el fin de asegurar que el proceso se vaya realizando según lo esperado.

Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Disposición Vial AM-03-2001 Actualización de Manuales de la Administración.

11.2. SOBRE EL CONTROL DE AGREGADOS

Hallazgo N° 3: La disposición y el control general de los agregados minerales se realiza de acuerdo con la documentación contractual

Los diseños de mezcla vigente son el informe N°088-2012 para mezcla convencional de fecha 9 de julio de 2012 y el informe N°1354-2014 de fecha 12 de setiembre de 2014 para mezcla modificada con polímero ambos emitidos por OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A, en ambos diseños se indica que se están utilizando agregados del Quebrador Javillos, constituidos en tres apilamientos a saber: agregado grueso (tamaño máximo nominal de 19,1mm), agregado intermedio (tamaño máximo nominal de 9,5mm) y agregado fino (tamaño máximo nominal 4,75mm). Dichos apilamientos se mantienen separados entre sí debido a la gran cantidad de espacio con que se cuenta en la planta (Fotografía 9) en superficies planas y libres de contaminantes como lo especifica la Disposición Vial AM-03-2001. Además, se observó que los apilamientos son tapados con lonas con el fin de evitar que absorban humedad excesiva como se puede apreciar en la Fotografía 10. Finalmente, el material es acomodado por maquinaria de llantas y no de orugas como recomienda la Disposición antes mencionada para evitar la segregación y la degradación del material.

Dado lo anterior es criterio de este Equipo Auditor que se cumple con lo solicitado en la disposición AM-03-2001 para los apilamientos de la planta de producción de mezcla asfáltica del proyecto.



Fotografía 9. Apilamientos en la planta



Fotografía 10. Apilamiento tapado con lona

11.3. SOBRE LA GESTIÓN AMBIENTAL

Hallazgo N° 4: La planta de producción de mezcla asfáltica cumple con los requisitos ambientales solicitados en la disposición GA-05-2001.

Durante las visitas del equipo auditor se evaluó el cumplimiento de la gestión ambiental según la Disposición GA-05-2001 la cual rige para todos los contratos con el M.O.P.T. o el Conavi. Según esta se debe contar con una pila de sedimentación cuando se utilice agua en el proceso productivo, tal como se muestra en la Fotografía 11. Adicionalmente, se solicita que la salida de agua sea hacia algún río o quebrada, siempre y cuando haya sido tratada previamente y no presente peligro de contaminación al sitio de descarga.



Fotografía 11. Laguna de sedimentación

En cuanto a los tanques de asfalto, diesel o cualquier material combustible se solicita construir una barrera perimetral al tanque, que retenga cualquier tipo de derrame. Esta barrera debe tener capacidad, como mínimo, de contener 1,5 veces la capacidad del tanque. Las barreras perimetrales para los tanques se observan en la Fotografía 12.

Es criterio de este Equipo Auditor que se cumple con lo solicitado en la disposición GA-05-2001 para este centro de producción.



Fotografía 12. Barreras perimetrales de los tanques de materiales combustibles

11.4. SOBRE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA

Los requisitos para la mezcla asfáltica señalados en las especificaciones nacionales, apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001, establecen que la variabilidad permitida para el parámetro de contenido de asfalto debe mantenerse en $\pm 0,5\%$ con respecto al valor óptimo de asfalto determinado en el diseño de mezcla.

De acuerdo con la estructura del pavimento aprobada, la capa del pavimento será construida en un espesor de 13 cm, la cual estará conformada por dos capas de mezcla asfáltica, a saber los primeros 6,5 cm con mezcla asfáltica convencional y los últimos 6,5 cm de mezcla asfáltica modificada con polímero. A continuación se detallan aspectos generales de cada uno de los diseños:

- Mezcla asfáltica convencional: mediante oficio GCVP-PSC-14-425 del 05 de noviembre de 2014 se informa que el diseño de mezcla convencional vigente corresponde al documento identificado como "Informe 088-2012"². En dicho documento se establece que el valor óptimo de asfalto es $4,60 \pm 0,5\%$ 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 4,10% a 5,10%.
- Mezcla asfáltica modificada con polímeros: en reunión³ mantenida en las oficinas de la Unidad Ejecutora del proyecto el día 28 de enero de 2015 se entrega el diseño de mezcla asfáltica modificada con polímeros que se encuentra vigente el cual

² Elaborado el día 09 de julio de 2012 por el laboratorio de control de calidad OJM Consultores de Calidad y Laboratorios.

³ En el oficio LM-AT-028-15 del día 02 de febrero de 2015 se enlista la información entregada en la reunión.

corresponde al documento identificado como "Informe 1354-2014"⁴. En dicho documento se establece que el valor óptimo de asfalto es $5,30 \pm 0,5\%$ sobre el peso de la mezcla, lo cual define que los límites permisibles del rango de contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica producida son 4,80% a 5,80%.

Hallazgo N° 5: Las muestras de mezcla asfáltica convencional se mantienen dentro de los límites de tolerancia establecidos por el óptimo $\pm 0,5\%$ (4,10% - 5,10%).

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en los Informes de Ensayo I-081-15, I-082-15, I-532-15, I-601-15, I-778-15, I-785-15, I-822-15, I-927-15, I-1063-15, I-1083-15 y I-1212-15 se evidencia que todos los resultados de contenido de asfalto se encuentran entre los límites permisibles.

En la Tabla 10 se resumen los resultados obtenidos para cada una de las muestras analizadas y se resalta el resultado que se encuentra sobre o fuera del rango de contenido de asfalto (contenido de asfalto $\pm 0,5\%$) establecido en el diseño de mezcla, y en la Figura 4 se presentan gráficamente estos resultados. Se indica el valor meta que corresponde al contenido óptimo de asfalto, así como los límites permisibles, de acuerdo con los datos del informe de diseño de mezcla vigente.

Tabla 10. Resultados reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR

Información General			Contenido (%)		
Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	Agua (%)	Factor de corrección (%)	Asfalto sobre la mezcla (%)
M-0066-15	Planta Sánchez Carvajal	13/01/2015	0,37	0,406	4,7
M-0373-15	Planta Sánchez Carvajal	10/02/2015	0,45	0,406	4,9
M-0374-15	Planta Sánchez Carvajal	10/02/2015	0,40	0,406	5,1
M-0511-15	Planta Sánchez Carvajal	24/02/2015	0,43	0,406	4,8
M-0512-15	Planta Sánchez Carvajal	25/02/2015	0,43	0,406	4,8
M-0866-15	Planta Sánchez Carvajal	07/04/2015	0,42	0,406	4,7
M-0869-15	Planta Sánchez Carvajal	09/04/2015	0,49	0,406	4,9
M-1018-15	Planta Sánchez Carvajal	21/04/2015	0,40	0,406	4,5
M-1237-15	Planta Sánchez Carvajal	14/05/2015	0,32	0,406	4,7
M-1472-15	Planta Sánchez Carvajal	10/06/2015	0,18	0,406	5,0
M-1474-15	Planta Sánchez Carvajal	11/06/2015	0,28	0,406	4,6
M-1756-15	Planta Sánchez Carvajal	23/07/2015	0,239	0,406	4,7
M-1871-15	Planta Sánchez Carvajal	04/08/2015	0,31	0,406	4,8
M-1872-15	Planta Sánchez Carvajal	05/08/2015	0,28	0,406	4,6
M-1872-15	Planta Sánchez Carvajal	05/08/2015	0,28	0,406	4,3
PROMEDIO			0,36	-	4,7
DESVIACIÓN ESTÁNDAR			0,08	-	0,2
Índice Calidad Superior			-	-	1,9
Índice Calidad Inferior			-	-	3,3
% fuera de los límites			-	-	4,3%

⁴ Elaborado el día 12 de setiembre de 2014 por el laboratorio de control de calidad OJM Consultores de Calidad y Laboratorios. Asimismo el día 17 de setiembre de 2014 el laboratorio emite la formula de trabajo NCSC-11-2014 con la que se actualiza el diseño de mezcla; sin embargo el contenido de asfalto no varía.

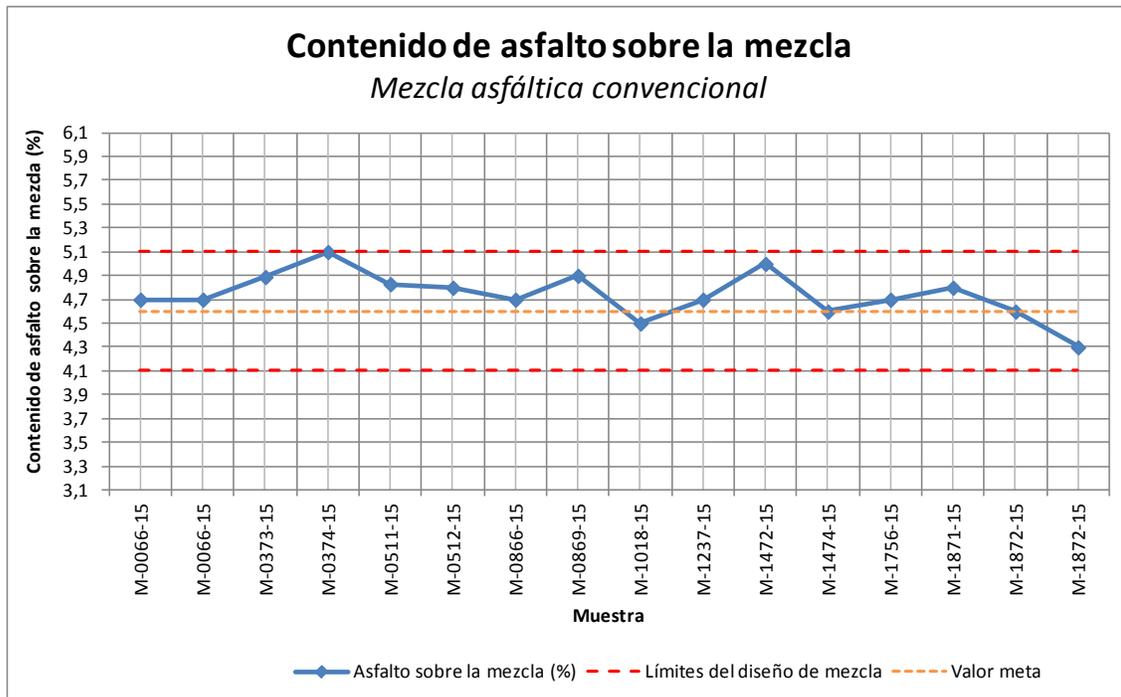


Figura 4. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica convencional ensayadas por el LanammeUCR.

En la Figura 4 se evidencia que todas las muestras se mantienen dentro de los límites de especificación con relación al contenido de asfalto óptimo (valor meta) requerido en el diseño de mezcla. Sin embargo, se denota que la mayoría de los valores se ubican en la zona comprendida entre el valor meta y el límite superior, estando inclusive dos valores muy cercanos al límite superior. Esta situación podría crear un riesgo durante el proceso productivo, ya que al considerar la variación propia del mismo y ubicarse en la franja cercana al límite superior, se podrían generar incumplimientos en este parámetro de contenido de asfalto.

El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación: apartado 401.06 "Requisitos para la mezcla asfáltica" de la Actualización de Manuales de la Administración "Disposición AM-01-2001".

Hallazgo N° 6: Algunas muestras de la mezcla modificada con polímero presentan valores de contenido de asfalto fuera de los límites de tolerancia establecidos por el óptimo $\pm 0,5\%$ (4,80% - 5,80%) establecido en el diseño de mezcla asfáltica vigente.

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en los Informes de Ensayo I-669-15, I-689-15, I-731-15, I-786-15, I-806-15, I-855-15, I-927-15 y I-1233-15 se evidencia que 3 de los resultados de contenido de asfalto superan los límites permisibles.

En la Tabla 11 se resumen los resultados obtenidos para cada una de las muestras de mezcla modificada con polímero analizadas y se resalta el resultado que se encuentra sobre o fuera del rango de contenido de asfalto (contenido de asfalto $\pm 0,5\%$) establecido en el diseño de mezcla y en la Figura 5 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.

En la Figura 5 se evidencia que tres muestras superan 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, lo que podría establecer 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 incumplimientos en este parámetro de contenido de asfalto.

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.

El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación: apartado 401.06 "Requisitos para la mezcla asfáltica" de la Actualización de Manuales de la Administración "Disposición AM-01-2001".

Tabla 11. Resultados reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR

Información General			Contenido (%)		
Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	Agua (%)	Factor de corrección (%)	Asfalto sobre la mezcla (%)
M-0654-15	Planta Sánchez Carvajal	10/03/2015	0,5	0,71	5,1
M-0662-15	Planta Sánchez Carvajal	13/03/2015	0,42	0,71	5,0
M-0735-15	Planta Sánchez Carvajal	17/03/2015	0,48	0,71	5,1
M-0737-15	Planta Sánchez Carvajal	18/03/2015	0,47	0,71	4,7
M-0820-15	Planta Sánchez Carvajal	26/03/2015	0,49	0,71	5,1
M-0821-15	Planta Sánchez Carvajal	26/03/2015	0,44	0,71	5,0
M-1019-15	Planta Sánchez Carvajal	21/04/2015	0,43	0,71	5,0
M-1222-15	Planta Sánchez Carvajal	12/05/2015	0,26	0,71	4,7
M-1236-15	Planta Sánchez Carvajal	13/05/2015	0,22	0,71	4,7
M-1357-15	Planta Sánchez Carvajal	27/05/2015	0,32	0,71	5,8
M-1359-15	Planta Sánchez Carvajal	28/05/2015	0,32	0,71	4,9
M-1360-15	Planta Sánchez Carvajal	27/05/2015	0,32	0,71	5,2
M-1471-15	Planta Sánchez Carvajal	09/06/2015	0,278	0,71	4,8
M-1994-15	Planta Sánchez Carvajal	19/08/2015	0,19	0,71	5,1
PROMEDIO			0,367	-	5,0
DESVIACIÓN ESTÁNDAR			0,11	-	0,3
Índice Calidad Superior			-	-	2,8
Índice Calidad Inferior			-	-	0,8
% fuera de los límites			-	-	23,8%

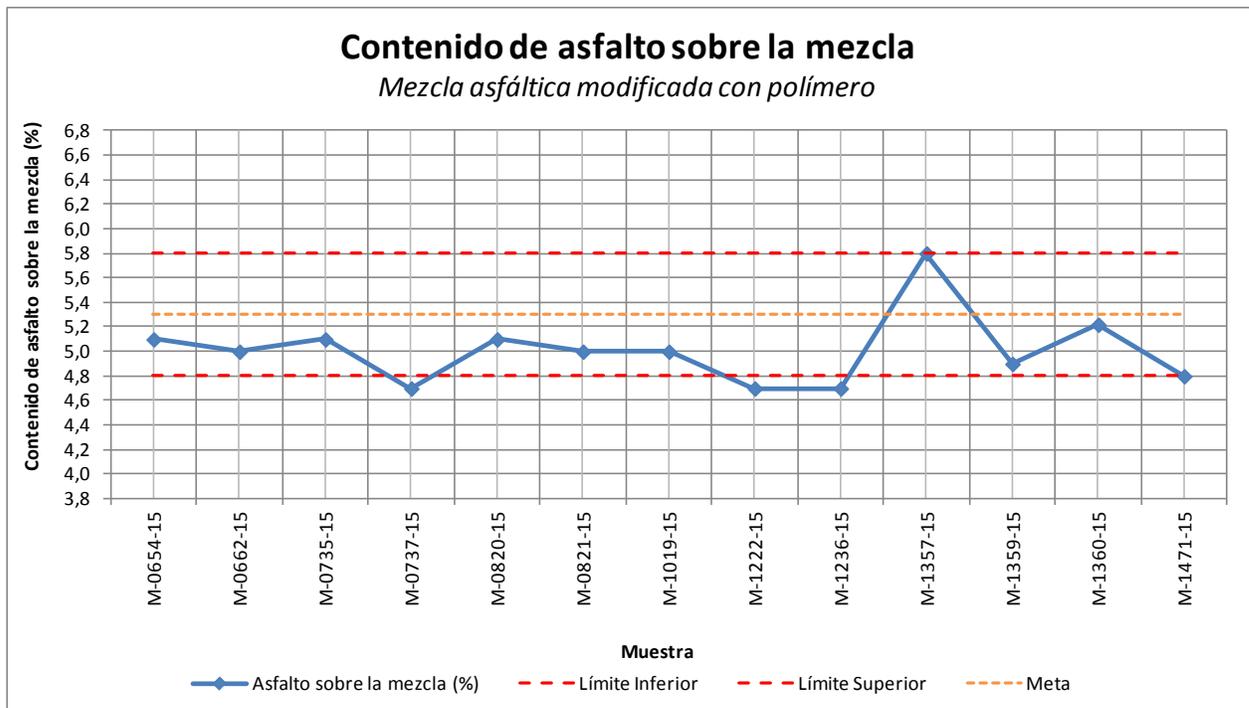


Figura 5. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica modificada con polímero ensayadas por el LanammeUCR.

Hallazgo N° 7: 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 especificada en la disposición vial AM-01-2001.

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 de 19 mm, se analizan los resultados de las muestras de mezcla asfáltica producida en el proyecto. Dichos resultados corresponden al ensayo ASTM D-5444 "Análisis mecánico del agregado extraído" los cuales fueron realizados por el Laboratorio de Infraestructura Vial.

Mezcla asfáltica convencional

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en los Informes de Ensayo I-081-15, I-082-15, I-532-15, I-601-15, I-778-15, I-785-15, I-822-15, I-927-15, I-1063-15, I-1083-15 y I-1212-15 se observa la presencia de curvas granulométricas con tendencia hacia el límite fino. A partir de la malla N°16 se observan composiciones más finas que se mantienen cercanas del límite establecido en la especificación granulométrica, tal como se ilustra en la Figura 6.

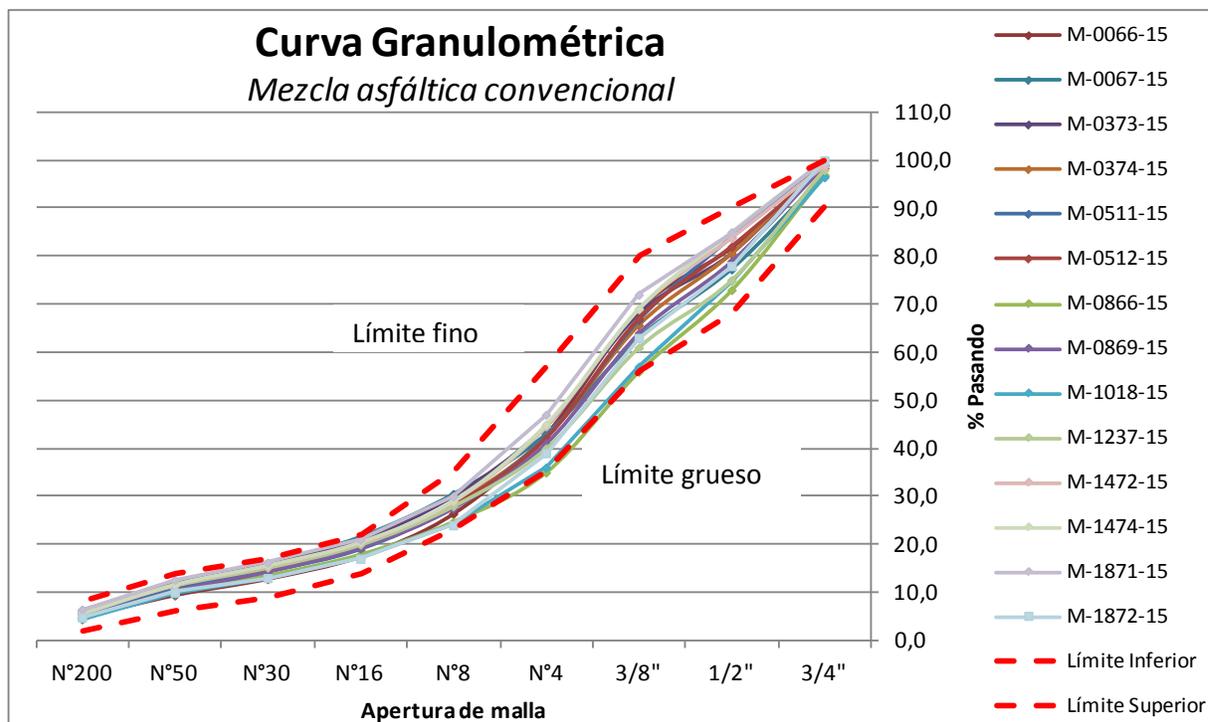


Figura 6. Resultados de granulometría en las muestras de mezcla asfáltica convencional ensayadas por el LanammeUCR.

En la Tabla 12 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 para los tamaños granulométricos de 12,5 mm y 9,5 mm la mayoría de los resultados se encuentran por encima del límite superior. Un comportamiento similar se observa en el tamaño granulométrico de 4,75 mm, solo que para una menor cantidad de resultados.

Tabla 12. Resultados reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR

Información General			Mallas								
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	19,0 mm 3/4"	12,5 mm 1/2"	9,5 mm 3/8"	4,75 mm N°4	2,36 mm N°8	1,18 mm N°16	600 µm N°30	300 µm N°50	75 µm 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-0081-15	M-0066-15	13/01/2015	99,0	81,9	69,0	43,0	26,4	17,5	12,8	9,4	4,8
I-0319-15	M-0067-15	13/01/2015	96,8	77,3	63,0	43,0	30,5	21,6	16,1	11,8	6,4
I-0532-15	M-0373-15	10/02/2015	100	80,6	68,1	44,6	30,0	20,9	15,7	11,6	5,5
I-0532-15	M-0374-15	10/02/2015	100	80,6	65,7	42,4	28,4	19,9	15,0	11,6	5,5
I-0601-15	M-0511-15	24/02/2015	100	84,0	66,7	42,3	27,8	18,9	14,2	10,6	5,4
I-0601-15	M-0512-15	25/02/2015	98,4	82,0	67,0	42,0	28,0	19,5	14,9	11,3	5,8
I-0778-15	M-0866-15	07/04/2015	97,0	73,0	56,0	35,0	24,7	17,9	13,5	10,0	4,4
I-0778-15	M-0869-15	09/04/2015	99,0	79,0	64,0	41,0	27,5	19,2	14,2	10,2	4,7
I-0785-15	M-1018-15	21/04/2015	96,5	75,0	57,0	36,0	24,0	17,0	13,0	9,6	4,5
I-0822-15	M-1237-15	14/05/2015	98,0	75,0	61,0	40,0	28,0	20,0	15,2	11,5	6,1
I-0919-15	M-1472-15	10/06/2015	98,8	83,8	69,0	44,6	28,9	20,3	15,5	11,5	5,6
I-0919-15	M-1474-15	11/06/2015	100	85,0	69,1	45,0	29,1	20,5	15,7	11,7	5,7
I-1083-15	M-1756-15	23/07/2015	99,3	80,0	63,0	41,0	28,0	19,0	14,8	11,4	5,90
I-1163-15	M-1871-15	04/08/2015	100	85,0	72,0	47,0	30,0	21,0	16,2	12,6	6,4
I-1163-15	M-1872-15	05/08/2015	100	78,0	63,0	39,0	24,0	17,0	13,0	10,0	4,8

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 13.

Tabla 13. Determinación de la variabilidad y cumplimiento de las curvas granulométricas

Información General	Mallas								
	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	600 μ m	300 μ m	75 μ m
	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	98,85	80,01	64,91	41,46	27,42	19,21	14,53	10,83	5,36
DESV. ESTÁNDAR	1,26	3,78	4,54	3,48	2,29	1,59	1,23	1,06	0,66
Índice de calidad Superior	0,9	2,5	3,2	4,5	3,4	1,7	2,0	3,1	3,9
Índice de calidad Inferior	7,0	3,1	1,9	2,0	2,2	3,5	4,7	5,1	5,1
TFE Superior	18,93%	1,22%	0,35%	0,03%	0,24%	5,35%	3,49%	0,40%	0,09%
TFE Inferior	0,00%	0,45%	3,77%	3,29%	2,50%	0,18%	0,02%	0,01%	0,01%
Porcentaje fuera de los límites	18,93%	1,67%	4,12%	3,32%	2,74%	5,53%	3,51%	0,41%	0,10%
Categoría	II	II	II	I	II	II	I	II	I
Factor de pago	1,0	1,0	1,0	1,05	1,0	1,0	1,04	1,0	1,05

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.

Mezcla asfáltica modificada con polímero

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en los Informes de Ensayo I-669-15, I-689-15, I-731-15, I-786-15, I-806-15, I-855-15, I-919-15, I-1083-15 y I-1233-15 se observa la presencia de curvas granulométricas con inclinación hacia el límite superior de la especificación, notándose composiciones más finas que de la malla N°4 a la malla 3/4" se mantienen cercanos del límite superior establecidos en la especificación granulométrica, tal como se ilustra en la Figura 7.

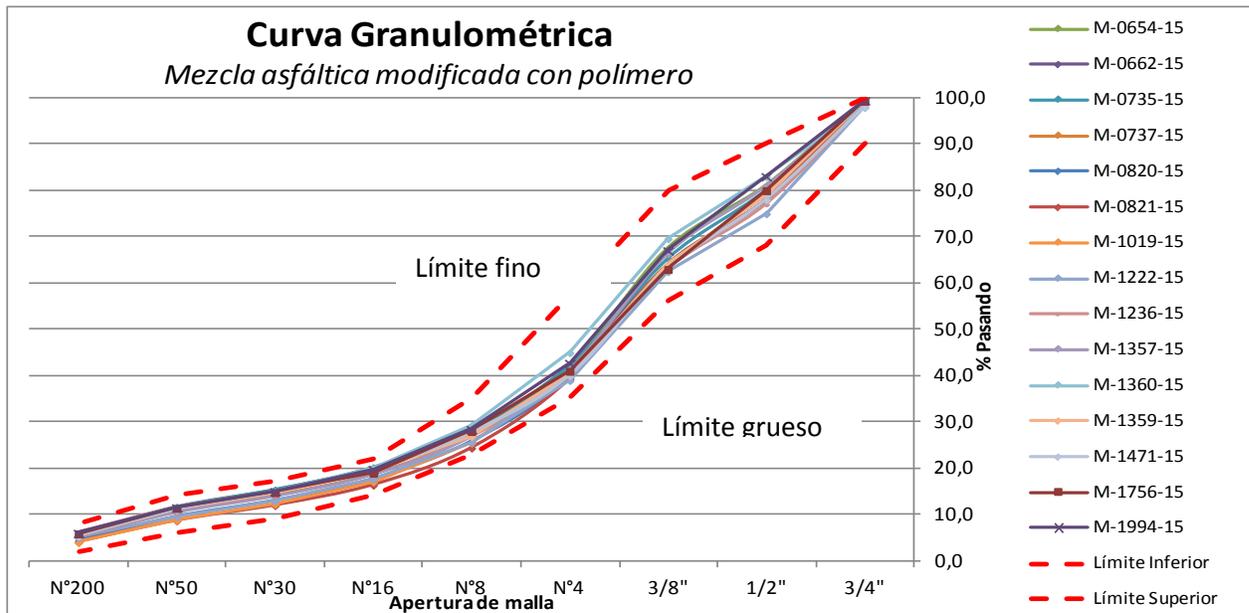


Figura 7. Resultados de granulometría en las muestras de mezcla asfáltica modificada con polímero ensayadas por el LanammeUCR.

En la Tabla 14 se resumen los resultados obtenidos para cada una de las muestras analizadas y se resalta de color rojo el resultado que se encuentra fuera del rango óptimo de contenido de asfalto establecido en la granulometría de control de calidad.

Tabla 14. Resultados reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR

Información General			Mallas								
Informe	Muestra	Fecha de muestreo	19,0 mm 3/4"	12,5 mm 1/2"	9,5 mm 3/8"	4,75 mm N°4	2,36 mm N°8	1,18 mm N°16	600 µm N°30	300 µm N°50	75 µm 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-0731-15	M-0654-15	10/03/2015	99,3	81,0	67,4	42,0	28,0	19,8	14,9	11,1	5,30
I-0731-15	M-0662-15	13/03/2015	99,1	78,0	63,9	42,1	28,3	20,0	15,2	11,4	5,70
I-0669-15	M-0735-15	17/03/2015	99,3	80,0	65,2	42,1	28,5	20,2	15,4	11,7	5,88
I-0669-15	M-0737-15	18/03/2015	99,6	77,9	64,0	40,2	26,9	18,7	14,1	10,6	5,14
I-0689-15	M-0820-15	26/03/2015	99,1	78,0	64,0	39,6	25,8	17,7	13,0	9,5	4,40
I-0689-15	M-0821-15	26/03/2015	99,0	78,0	63,8	39,3	24,4	16,4	12,0	8,7	4,10
I-0786-15	M-1019-15	21/04/2015	99,0	79,0	64,0	40,0	25,5	17,1	12,3	8,8	4,00
I-0806-15	M-1222-15	12/05/2015	98,0	75,0	62,5	39,0	25,6	17,7	13,0	9,6	4,97
I-0806-15	M-1236-15	13/05/2015	98,3	77,0	63,0	41,0	27,0	20,0	15,0	11,5	6,10
I-0855-15	M-1357-15	27/05/2015	99,1	81,0	66,4	41,3	26,9	18,7	14,0	10,5	5,20
I-0855-15	M-1360-15	27/05/2015	98,0	83,0	69,6	45,0	29,3	20,0	14,9	11,1	5,40
I-0855-15	M-1359-15	28/05/2015	99,5	79,0	64,0	40,3	26,9	19,2	14,7	11,1	5,42
I-0919-15	M-1471-15	09/06/2015	98,0	78,0	63,0	40,0	27,7	19,6	14,9	11,1	5,40
I-1233-15	M-1994-15	19/08/2015	99,4	83,0	67,0	42,7	28,4	19,8	15,0	11,5	6,00

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 15.

Tabla 15. Determinación de la variabilidad y cumplimiento de las curvas granulométricas

Información General	Mallas								
	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	98,91	79,19	64,72	41,04	27,15	18,93	14,21	10,64	5,26
DESV. ESTÁNDAR	0,58	2,18	2,01	1,57	1,36	1,19	1,11	1,01	0,66
Índice de calidad Superior	1,9	5,0	7,6	10,2	5,8	2,6	2,5	3,3	4,2
Índice de calidad Inferior	15,4	5,1	4,3	3,9	3,1	4,1	4,7	4,6	4,9
TFE Superior	4,07%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	1,10%	1,24%	0,25%	0,05%
TFE Inferior	0,00%	0,01%	0,03%	0,09%	0,43%	0,05%	0,02%	0,02%	0,01%
Porcentaje fuera de los límites	4,07%	0,02%	0,03%	0,09%	0,43%	1,16%	1,25%	0,27%	0,06%
Categoría	II	II	II	I	II	II	I	II	I
Factor de pago	1,0	1,0	1,0	1,05	1,0	1,0	1,05	1,0	1,05

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.

El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación: apartado 401.06 "Requisitos para la mezcla asfáltica" de la Actualización de Manuales de la Administración "Disposición AM-01-2001".

Hallazgo N° 8: Se observa que en 9 muestras de la mezcla asfáltica convencional analizada se presentan incumplimientos en alguno de los parámetros Marshall establecidos en la disposición vial AM-01-2001, mientras que la mezcla asfáltica modificada con polímero, cumple en su mayoría con los parámetros Marshall.

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 16. Especificación de parámetros según el método Marshall

Parámetro		Especificaciones
Estabilidad		Mínimo 800 kg
Flujo		20 a 35 $\frac{1}{100}$ 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	De 0,3 a 3 (medio)	65% a 78%
	Superior o igual a 3 (pesado)	65% a 75%

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 I-082-15, I-532-15, I-601-15, I-778-15, I-785-15, I-822-15, I-919-15 y I-1145-15 de muestreos realizados por el LanammeUCR en la planta de producción de la empresa Sánchez Carvajal ubicada en Sifón.

Tabla 17. Resultados de ensayo de mezcla asfáltica convencional

Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	Asfalto (PTM)	Gbs	Gmax	Vacíos	VMA	VFA	Polvo/asfalto
			%	-	-	%	%	%	%
Límite Inferior			4,1	-	-	3	13	65	0,6
Límite Superior			5,1	-	-	5	-	75	1,3
M-0066-15	Planta Sánchez Carvajal	13/01/2015	4,7	2,371	2,530	6,28	15,3	59,0	1,2
M-0373-15	Planta Sánchez Carvajal	10/02/2015	5,0	2,409	2,515	4,21	14,2	70,4	1,3
M-0374-15	Planta Sánchez Carvajal	10/02/2015	5,1	2,416	2,515	3,94	14,1	72,1	1,3
M-0511-15	Planta Sánchez Carvajal	24/02/2015	4,8	2,407	2,505	3,91	14,1	72,3	1,2
M-0512-15	Planta Sánchez Carvajal	25/02/2015	4,8	2,417	2,528	4,39	13,8	68,2	1,5
M-0866-15	Planta Sánchez Carvajal	07/04/2015	4,7	2,398	2,532	5,29	14,4	63,2	1,1
M-0869-15	Planta Sánchez Carvajal	09/04/2015	4,9	2,411	2,527	4,59	14,1	67,4	1,2
M-1018-15	Planta Sánchez Carvajal	21/04/2015	4,5	2,389	2,539	5,91	14,5	59,3	1,2
M-1237-15	Planta Sánchez Carvajal	14/05/2015	4,7	2,44	2,525	3,37	12,9	73,9	1,5
M-1472-15	Planta Sánchez Carvajal	10/06/2015	5,0	2,431	2,537	4,18	13,5	69,0	1,4
M-1474-15	Planta Sánchez Carvajal	11/06/2015	4,6	2,413	2,531	4,66	13,8	66,1	1,5
M-1756-15	Planta Sánchez Carvajal	23/07/2015	4,7	2,424	2,537	4,45	13,4	66,8	1,6
M-1871-15	Planta Sánchez Carvajal	06/08/2015	4,8	2,431	2,546	4,52	13,3	66,0	1,7
M-1872-15	Planta Sánchez Carvajal	06/08/2015	4,6	2,423	2,548	4,91	13,4	63,4	1,3
Promedio			4,8	2,4	2,5	4,6	13,9	67,0	1,3
DESV. ESTÁNDAR			0,16	0,02	0,01	0,76	0,62	4,39	0,40
Índice de calidad Superior			2,00	-	-	0,53	-	1,83	0,06
Índice de calidad Inferior			4,09	-	-	2,12	1,47	0,44	1,73
Porcentaje fuera de los límites			3%	-	-	33%	8%	39%	53%
Categoría			I	-	-	II	-	-	-
Factor de pago			1,04	-	-	0,91	-	-	-

Al valorar la sección 7.04 "Método de análisis de nivel de calidad-desviación estándar y determinación del factor de pago" del MC-2002 se establece que los parámetros establecidos para pago (porcentaje de asfalto y vacíos) tienen una variabilidad estadística baja, arrojando factores de pago cercanos a 1. Por su parte, los restantes parámetros volumétricos evaluados (VFA y polvo/asfalto) determinan porcentajes de trabajo fuera de los límites de especificación de 39% y 52%, siendo cercano al 53% que se establece como el valor de la máxima variabilidad permitida para considerar un producto aceptable de categoría II de calidad.

Se puede observar que 9 de las 13 muestras ensayadas presenta incumplimientos en alguno de los parámetros volumétricos Marshall para aceptación de la mezcla asfáltica, vacíos, vacíos en el agregado mineral (VMA), 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.

Con respecto al parámetro vacíos llenos de asfalto (VFA) se establece que cuatro resultados están por debajo del límite inferior de la especificación. Mientras que cinco resultados del parámetro relación polvo/asfalto se encuentran en la parte superior del rango. Estos

resultados reflejan una mezcla asfáltica con una alta susceptibilidad a generar deterioros tales como exudación, desplazamiento y ahuellamiento.

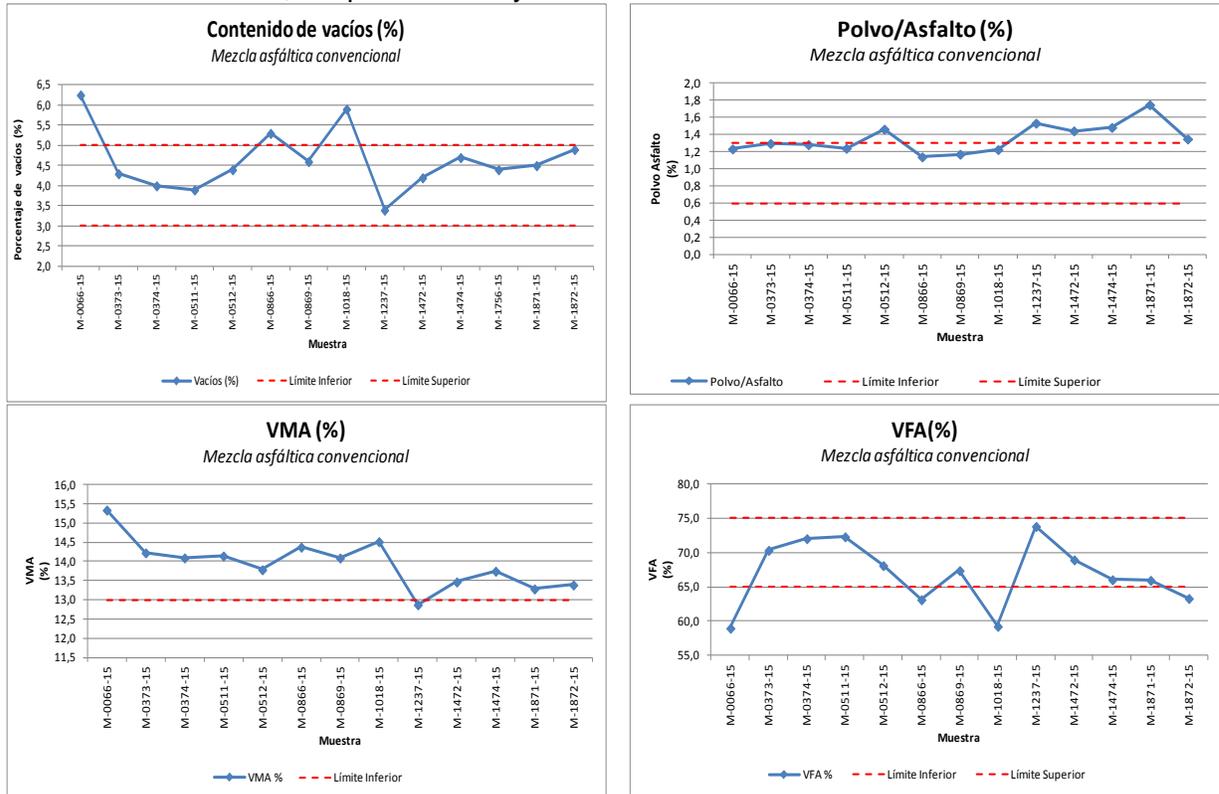


Figura 8. Resultados de volumetría en las muestras de mezcla asfáltica convencional ensayadas por el LanammeUCR.

Mezcla asfáltica modificada con polímero

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en los Informes de Ensayo I-082-15, I-532-15, I-601-15, I-778-15, I-785-15, I-822-15, I-919-15, I-1063-15, I-1083-15 y I-1212-15 se evidencia que la mayoría de los resultados se encuentran entre los límites permisibles.

Tabla 18. Resultados de ensayo de Mezcla asfáltica modificada con polímero

Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	Asfalto (PTM)	Gbs	Gmax	Vacíos	VMA	VFA	Polvo/ asfalto
			%	-	-	%	%	%	%
	Límite Inferior		4,8	-	-	3	13	65	0,6
	Límite Superior		5,8	-	-	5	-	75	1,3
M-0654-15	Planta Sánchez Carvajal	10/03/2015	5,1	2,402	2,494	3,69	14,6	74,7	1,14
M-0662-15	Planta Sánchez Carvajal	13/03/2015	5,0	2,406	2,506	3,99	14,3	72,2	1,30
M-0735-15	Planta Sánchez Carvajal	17/03/2015	5,1	2,391	2,506	4,59	15,0	69,3	1,33
M-0737-15	Planta Sánchez Carvajal	18/03/2015	4,7	2,414	2,51	3,82	13,8	72,2	1,22
M-0820-15	Planta Sánchez Carvajal	26/03/2015	5,1	2,383	2,507	4,95	15,2	67,5	1,00
M-0821-15	Planta Sánchez Carvajal	26/03/2015	5,0	2,366	2,504	5,51	15,8	65,0	0,93
M-1019-15	Planta Sánchez Carvajal	21/04/2015	5,0	2,371	2,502	5,24	15,6	66,4	0,90
M-1222-15	Planta Sánchez Carvajal	12/05/2015	4,7	2,393	2,513	4,78	14,5	67,1	1,19
M-1236-15	Planta Sánchez Carvajal	13/05/2015	4,7	2,398	2,517	4,73	14,3	67,0	1,49
M-1471-15	Planta Sánchez Carvajal	09/06/2015	4,8	2,415	2,509	3,75	13,8	72,9	1,26
M-1357-15	Planta Sánchez Carvajal	27/05/2015	4,9	2,393	2,515	4,85	14,7	67,0	1,24
M-1359-15	Planta Sánchez Carvajal	28/05/2015	4,9	2,405	2,509	4,15	14,3	71,0	1,25
M-1360-15	Planta Sánchez Carvajal	29/05/2015	5,2	2,411	2,501	3,60	14,3	74,9	1,19
M-1994-15	Planta Sánchez Carvajal	19/08/2015	5,1	2,404	2,511	4,26	14,5	70,6	1,38
	PROMEDIO		4,95	2,40	2,51	4,38	14,59	70,07	1,21
	DESV. ESTÁNDAR		0,16	0,02	0,01	0,61	0,57	3,23	0,17
	Índice de calidad Superior		5,20	-	-	1,02	-	1,53	0,54
	Índice de calidad Inferior		0,89	-	-	2,26	2,78	1,57	3,69
	Porcentaje fuera de los límites		19%	-	-	18%	1%	14%	30%
	Categoría		I	-	-	II	-	-	-
	Factor de pago		0,94	-	-	1,0	-	-	-

La evaluación de la sección 7.04 "Método de análisis de nivel de calidad-desviación estándar y determinación del factor de pago" del MC-2002 establece factores de pago cercanos a 1 para los parámetros establecidos para pago. En tanto los restantes parámetros volumétricos evaluados (VFA y polvo/asfalto) determinan valores de trabajo fuera de los límites de especificación entre 16% a 35%, con lo cual si se consideran de categoría II de calidad, la máxima variabilidad permitida para considerar un producto aceptable es de 51%.

Se puede observar pocos incumplimientos en los resultados de las muestras de mezcla modificada con polímero en el parámetro de contenido de vacíos y la relación polvo asfalto. Sin embargo, si se logra establecer una variabilidad en los resultados de estos parámetros ya que se determina entre el 16 al 35% de los valores están fuera de los límites de la especificación, tal como se puede apreciar en la Figura 9.

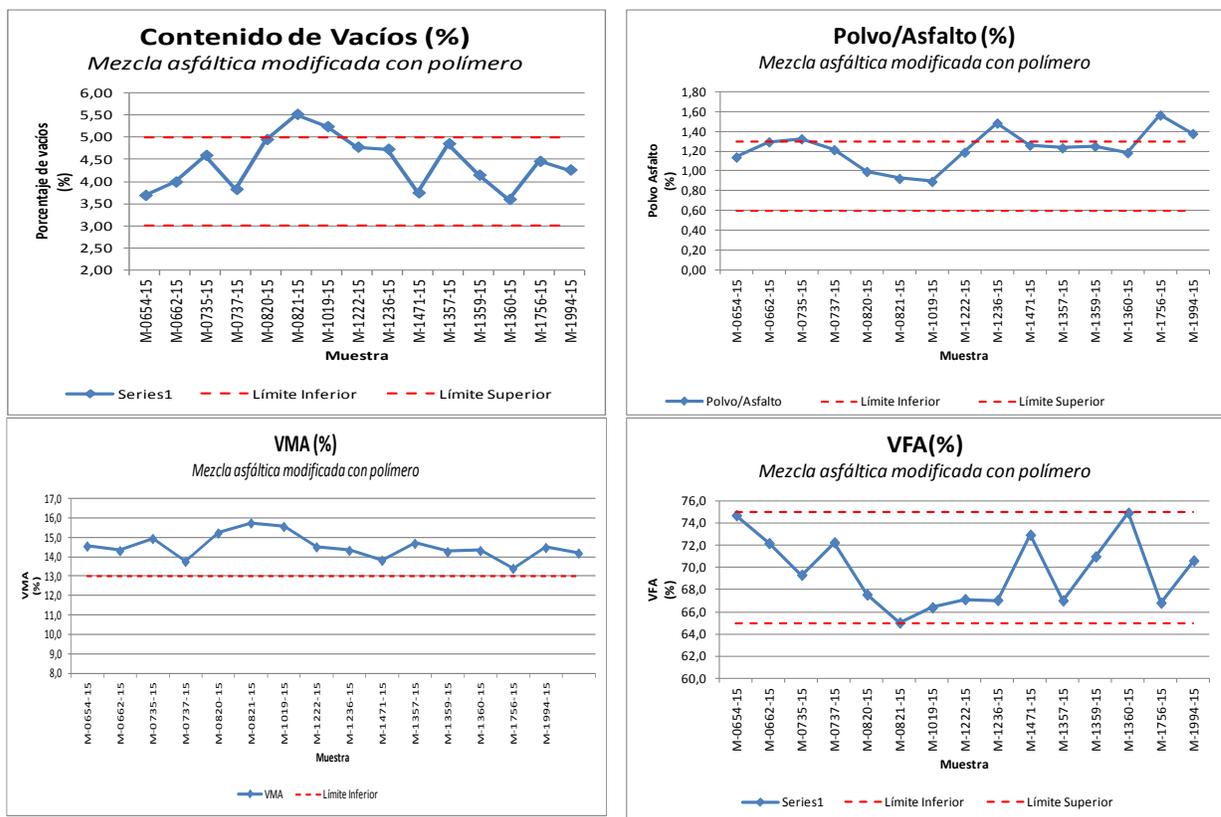


Figura 9. Resultados de volumetría en las muestras de mezcla asfáltica modificada con polímero ensayadas por el LanammeUCR.

El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación: apartado 401.06 "Requisitos para la mezcla asfáltica" de la Actualización de Manuales de la Administración "Disposición AM-01-2001".

11.5. 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 9.1, 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° 9: Los resultados de las muestras ensayadas por el LanammeUCR y el laboratorio de control de calidad para el material de subbase cumplen con las especificaciones establecidas en el MC-2002.

El laboratorio del LanammeUCR, realizó muestreos al material de subbase granular de marzo a mayo de 2015, analizando la granulometría y CBR de tres muestras las cuales se indican a continuación:

Tabla 19. Resumen de muestras ensayadas de subbase granular por el LanammeUCR

Información General				Granulometría				Plasticidad		CBR
Informe	Muestra	Ubicación	Fecha de muestreo	76,2 mm (3")	4,75 mm (N° 4)	0,43 mm (N° 40)	75 µm (N° 200)	LL	IP	al 95%
Límite Inferior				100	40	10	5	-	-	30%
Límite Superior				100	100	70	35	30%	7%	-
I-0358-15	0653-15	10+340	10/03/2015	100	55,7	30,2	15,3			
I-0695-15	0653-15	10+340	10/03/2015					29	6	124
I-0505-15	0819-15	11+060	24/03/2015	100	49,6	21,1	6,81			
I-0676-15	0819-15	11+060	24/03/2015					NP	NP	129,5
I-0873-15	1221-15	12+730	12/05/2015					NP	NP	124,5
I-0693-15	1221-15	12+730	15/05/2015	100	52,3	25,4	11,20			

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 se encuentra dentro de los límites indicados en la especificación (Ver Figura 10). Para los datos de CBR todos se encuentran por encima del valor especificado de 30%, en el caso de plasticidad, se obtienen un valor que se encuentra fuera de los límites especificados.

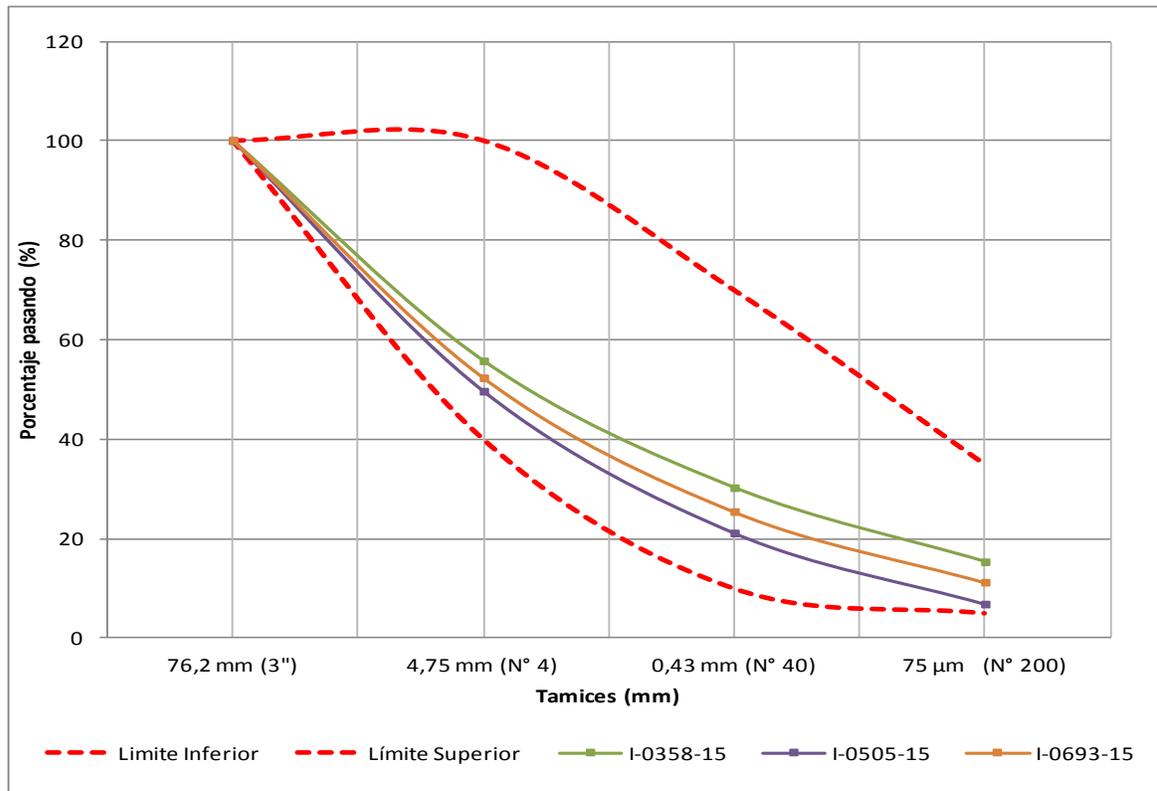


Figura 10. Curvas granulométricas de muestras de sub base granular ensayadas por el LanammeUCR.

En el caso del laboratorio del Control de Calidad, OJM, se analizó la granulometría y plasticidad de los muestreos de subbase granular realizados entre febrero y mayo de 2015.

De los resultados se puede observar que la distribución granulométrica de las muestras se encuentra dentro de los límites indicados en la especificación (Ver Figura 11). Para este material se obtiene un porcentaje fuera de los límites establecidos de 0,0% en las mallas N° 40 y N°200 y de 4,0% en el caso de la malla No 4, en comparación con un 47% (malla N°4 y N°40) y 53% (malla N° 200) establecido como porcentaje máximo permitido. En el caso de plasticidad, se obtienen valores dentro de los límites especificados.

Tabla 20. Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el laboratorio de control de calidad OJM, 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 (%)
No 4 (4.75mm)	I	16	4,0	47
No 40 (0,43mm)		16	0,0	47
No 200 (75 µm)	II	16	0,0	53

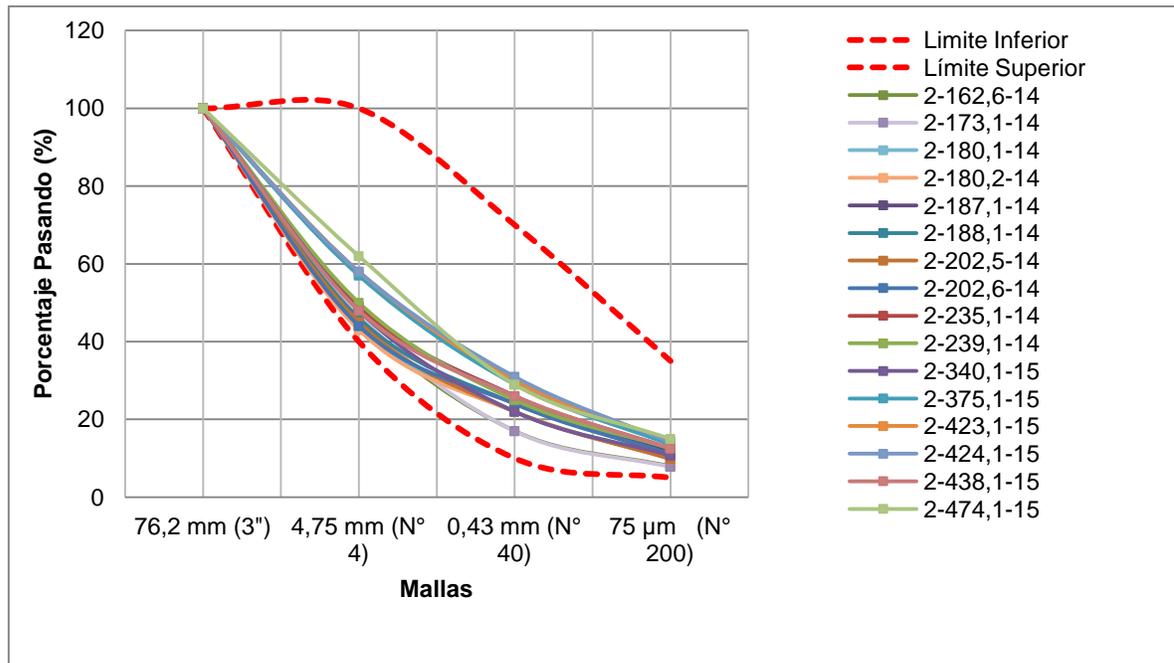


Figura 11. Curvas granulométricas de muestras de sub base granular ensayadas por el Laboratorio de Control de Calidad OJM.

11.6. 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 el control de calidad.

Para realizar un diagnóstico de la resistencia a la compresión de la base estabilizada colocada en el proyecto, se efectuó un análisis de los resultados de los ensayos a cilindros de base estabilizada con cemento elaborados a partir de material granular con cemento muestreado por parte del laboratorio del LanammeUCR en los meses de enero y agosto de 2015. Adicionalmente, se le solicitó a la Administración la información del control de calidad del proyecto relativa a las resistencias a la compresión de la base estabilizada, con el propósito de efectuar el análisis estadístico con los resultados reportados.

Utilizando como base el criterio expuesto en el oficio LM-PI-044-12 emitido el 07 de mayo de 2012 al señor Director Ejecutivo de CONAVI en ese periodo, Ing. José Luis Salas Quesada, y la sección⁵ “Método de análisis de nivel de calidad, desviación estándar y determinación del factor de pago” del MC-2002, documento de referencia descrito en las Adendas 6 y 7, el

⁵ En el apartado 9.1 se describe la metodología de análisis estadístico, aplicada en el presente informe.

equipo de auditoría técnica realizó un análisis estadístico con base en las muestras ensayadas por el LanammeUCR.

Se hace hincapié que si bien la especificación establecida en el CR-77 no detalla de forma explícita el valor máximo de resistencia a la compresión de cilindros de base estabilizada, este valor se puede inferir de 39 kg/cm² mediante un proceso estadístico, como se describe anteriormente en el apartado 9.2. "Aspectos relacionados con la resistencia a la compresión de la base estabilizada BE-25".

A continuación en la Tabla 21 se puede observar el porcentaje fuera de los límites determinado para los resultados de resistencia a la compresión de base estabilizada (BE-25) reportados por el LanammeUCR y en la Figura 12 se hace una comparación de manera gráfica con respecto a los límites.

Tabla 21. Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el LanammeUCR para cilindros de base estabilizada.

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

Cabe recalcar que no es recomendable dar a la capa de base estabilizada un exceso de resistencia, debido a que con una rigidez excesiva, se vuelve susceptible al agrietamiento (Halsted, Luhr, & Adaska, 2006), con la consecuencia de que las grietas que se forman se reflejarán en las capas que se colocarán sobre la base.

Además, a partir de los puntos señalados anteriormente, podemos decir que es posible que durante el desarrollo del proceso constructivo, no se esté dosificando un porcentaje óptimo de cemento al material a estabilizar, por lo que es importante reforzar la inspección y control de calidad de manera que se pueda alcanzar la resistencia requerida con el porcentaje de cemento establecido en el diseño, para así maximizar el uso de los recursos.

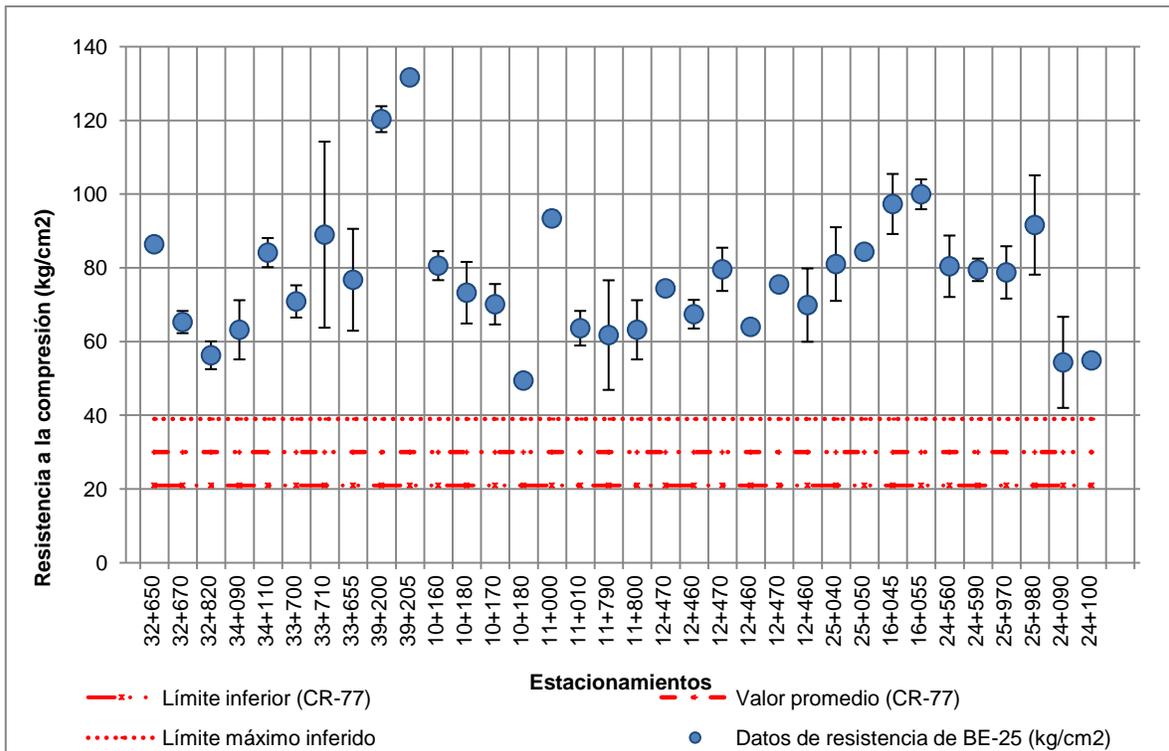


Figura 12. Resistencia a la compresión de cilindros de BE-25 ensayados por LanammeUCR

Tal y como se puede observar en la figura anterior (Ver Figura 12) los valores de resistencia a la compresión de los cilindros de base estabilizada, tienen un promedio de 77,4 kg/cm², en más del doble del valor promedio que se indica en la especificación del CR-77 de 30 kg/cm² (aumento de 47,4 kg/cm²).

Posteriormente, se realizó el análisis a los datos del laboratorio de Control de Calidad de la empresa Contratista. A continuación, se puede observar en la Tabla 22 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 22. Análisis estadísticos del porcentaje fuera de los rangos estimado para las muestras ensayadas por el Control de Calidad para cilindros de base estabilizada.

Parámetro	Categoría	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
BE-25	II	39	98,0	41,0

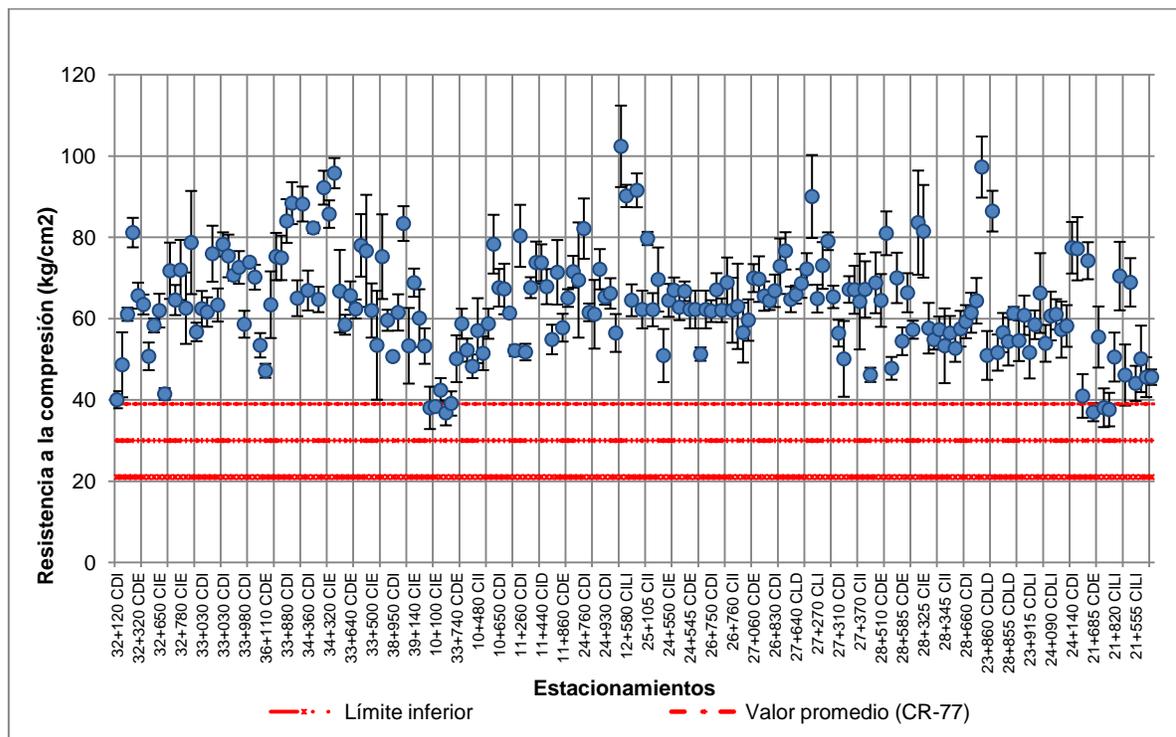


Figura 13. Resistencia a la compresión de cilindros de BE-25 ensayados por Control de Calidad.

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 $63,8 \text{ kg/cm}^2$, para un valor de $33,8 \text{ kg/cm}^2$ más que el valor promedio que se indica en la especificación del CR-77 de 30 kg/cm^2 y aproximadamente $24,8 \text{ kg/cm}^2$ más que el valor máximo que se puede inferir estadísticamente como límite superior (39 kg/cm^2).

De los conjuntos de datos analizados en el periodo de estudio, tanto del LanammeUCR como del Control 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/cm^2 , lo que podría provocar problemas de desempeño del proyecto.

12. CONCLUSIONES

A partir de las visitas realizadas durante el periodo de enero a agosto de 2015 al proyecto y a la planta de asfalto de la Constructora Sánchez Carvajal, ubicada en Buena Vista, a la valoración de la documentación de calibración y ensayos de calidad a la mezcla asfáltica, ensayos a los materiales granulares de subbase y base estabilizada con cemento se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

Sobre la planta de producción de mezcla asfáltica

En el momento de la visita, la planta de producción de mezcla asfáltica reunía los requisitos generales solicitados en la Disposición Vial AM-03-2001.

Durante las visitas realizadas y con base en la documentación presentada no se obtiene evidencia suficiente que permita sustentar que todos los componentes de la planta de producción de mezcla asfáltica se mantienen bajo actividades de control metrológico.

El control de los apilamientos se realiza de acuerdo con lo solicitado en la documentación contractual en cuanto a control granulométrico y protección de acopios.

Sobre la gestión ambiental de la planta asfáltica

La planta cumple con los requerimientos ambientales que se solicitan en la Disposición Vial GA-05-2001 la cual rige para todos los contratos con el M.O.P.T. o el CONAVI.

Sobre la mezcla asfáltica producida

Los resultados de contenido de asfalto para la mezcla asfáltica modificada con polímero presentan algunos valores fuera de la tolerancia establecida en la especificación y el diseño (óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$) para las muestras ensayadas por el LanammeUCR, no así para la mezcla convencional.

Se establece una variabilidad manifiesta en los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional (vacíos, vacíos llenos con asfalto y relación polvo-asfalto) en las muestras evaluadas por el LanammeUCR.

Sobre la calidad del material de subbase

Del análisis estadístico realizados al material de subbase con los datos de control de calidad y los ensayos realizados por el LanammeUCR entre el mes de enero y agosto de 2015, se puede concluir que los resultados de granulometría solicitados en las especificaciones cartelarias, se encuentran por debajo del porcentaje máximo permitido.

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

Del análisis estadístico realizados al material de base estabilizada tipo BE-25 con los datos de control de calidad y los ensayos realizados por el LanammeUCR entre el mes de enero y agosto de 2015, 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/cm^2 , lo que podría provocar problemas de desempeño del proyecto.

13. 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.

- a. 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.
- b. Incluir dentro de las labores del personal de planta la debida implementación del plan de control metrológico con el fin de asegurar que las lecturas de los equipos de la planta sean las correctas.
- c. Velar por el cumplimiento de las especificaciones solicitadas tanto en la Disposición Vial así como el cartel de licitación, el respectivo contrato y sus adendas para asegurar la calidad del proyecto y el buen uso de los recursos.

14. REFERENCIAS

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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*.
5. 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.
6. Herrera, E (2011). Boletín Técnico PITRA. *Fatiga en bases estabilizadas*. Vol 2 N° 21. San José, Costa Rica.
7. Halsted, G., Luhr, D., & Adaska, W. (2006). *Guide to Cement-Treated Base (CTB)*. Illinois: PCA.
8. 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



EQUIPO AUDITOR

Preparado por:
Ing. Francisco Fonseca Chaves
Auditor Técnico

Preparado por:
Ing. Víctor Hugo Cervantes Calvo
Auditor Técnico

Preparado por:
Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo.
Auditora Técnica

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