



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE  
INFRAESTRUCTURA DEL  
TRANSPORTE

## Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-048-13

# EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA Y DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA DE LA CONSTRUCTORA HERNÁN SOLÍS EN ABANGARES.

***PROYECTO: Conservación de la Red Nacional Pavimentada.***

***Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV.***

***Zonas 1-5, 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 3-1 y 6-2***

INFORME FINAL

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica



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

San José, Costa Rica

NOVIEMBRE, 2013



Información técnica del documento

<b>1. Informe Final</b> LM-PI-AT-048-13.	<b>2. Copia No.</b> 1	
<b>3. Título y subtítulo:</b> EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA Y DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA DE LA CONSTRUCTORA HERNÁN SOLÍS EN ABANGARES. Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV. Zonas 1-5, 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 3-1 y 6-2.	<b>4. Fecha del Informe</b> Noviembre, 2013	
<b>7. Organización y dirección</b> 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		
<b>8. Notas complementarias</b> ---*---*		
<b>9. Resumen</b> <b>Sobre la planta de producción de mezcla asfáltica:</b> La planta de producción de asfalto engloba los principales componentes generales requeridos en el cartel, entre ellos cuatro tolvas para la combinación de agregados, tambor secador y mezclador, quemador, casa de filtros, 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 metrológico. <b>Sobre el control de agregados:</b> En general el control de agregados se efectúa de acuerdo con lo requerido contractualmente, manteniendo apilamientos de cuatro tipos de agregados, protección y medición por humedad, control de granulometrías de los acopios y de la combinación de las fracciones en las tolvas. <b>Sobre los controles de producción y despacho de mezcla asfáltica:</b> se determina que se aplican los registros, por parte del inspector de planta de CONAVI, para la supervisión de la producción y despacho de mezcla asfáltica. <b>Sobre la calidad de la mezcla asfáltica:</b> Se determinan algunos resultados de contenido de asfalto altos en la mezcla asfáltica producida. Las curvas granulométricas de la combinación de agregados se cumplen adecuadamente, mostrando una tendencia al límite mayor de especificación (menor cantidad de agregados) en la parte fina. Los parámetros volumétricos de porcentaje de vacíos en la mezcla, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA) y en la relación polvo/asfalto muestran incumplimientos de las especificaciones establecidas. <b>Sobre el diseño de la mezcla asfáltica:</b> Los parámetros volumétricos de porcentaje de vacíos en la mezcla y vacíos llenos de asfalto (VFA) muestran un riesgo potencial de incumplimiento en un 73% del rango de contenido óptimo de asfalto establecido en el diseño de mezcla.		
<b>10. Palabras clave</b> Planta asfáltica, Mezcla asfáltica, Diseño de mezcla, Control y Verificación de Calidad, pesaje	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 35

**INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA**  
**EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA Y LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA DE LA**  
**CONSTRUCTORA HERNÁN SOLÍS EN ABANGARES. Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV. Zonas 1-5, 2-1, 2-2,**  
**2-3, 2-4, 3-1 y 6-2**

**Departamento encargado del proyecto:** Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, CONAVI  
**Ingeniero de Conavi ubicación de planta, zona 2-2 Cañas:** Reynaldo Mata Carranza (Ingeniero de CONAVI)  
**Laboratorio de verificación de calidad:** No asignado al momento de la visita.

**Empresa contratista:** Constructora Hernán Solís  
**Laboratorio de control de calidad:** LGC Ingeniería de Pavimentos

**Monto original del contrato:** Zonas 1-5: ₡7.089.329.362, 2-1: ₡4.417.349.209, 2-2: ₡5.982.104.437, 2-3: ₡3.541.049.417,  
 2-4: ₡3.551.140.851, 3-1: ₡4.943.781.250 y 6-2: ₡6.903.116.448 (montos en colones)  
**Plazo original de ejecución:** 1095 días naturales

**Coordinador de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA:**  
 Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD

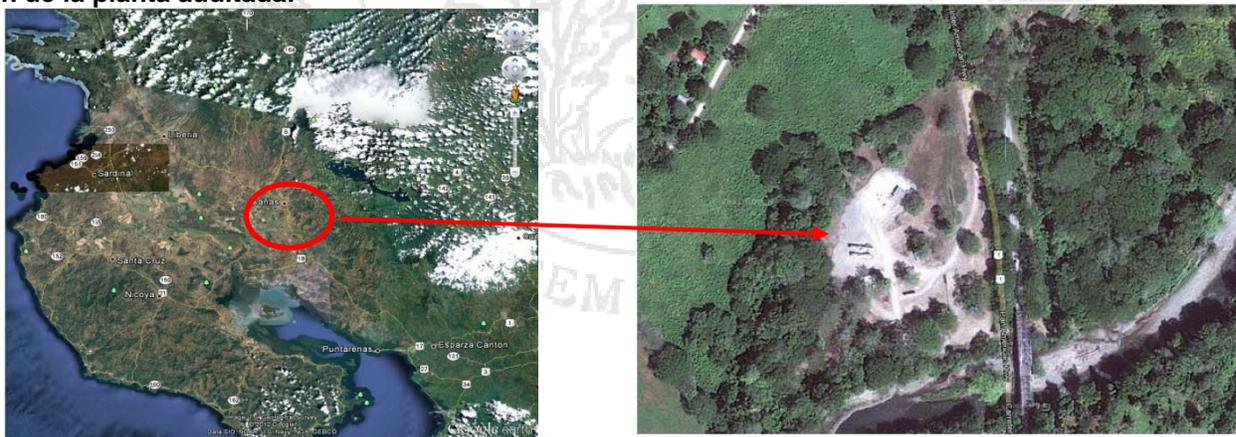
**Coordinadora de Auditoría Técnica:**  
 Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.

**Audidores:**  
 Ing. Víctor Cervantes Calvo (Auditor Líder)  
 Ing. Francisco Fonseca Chaves (Auditor adjunto)

**Asesor Legal:**  
 Lic. Miguel Chacón Alvarado

**Alcance del informe:**  
 El alcance de esta auditoría técnica se centró en la evaluación de la planta de producción de mezcla asfáltica de la Constructora Hernán Solís, durante los meses de abril y mayo de 2013.

**Ubicación de la planta auditada:**



**Figura 1. Ubicación de Planta Hernán Solís, en Abangares.**

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	5
1. FUNDAMENTACIÓN.....	6
2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS.....	6
2.1. Objetivo del informe.....	6
2.2. Alcance del informe.....	7
3. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR.....	7
4. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	7
4.1. Información general de la planta.....	9
5. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	9
5.1. Hallazgos Y Observaciones de la Auditoría.....	10
5.1.1. Sobre la planta de producción de mezcla asfáltica.....	10
Componente.....	16
Componente.....	17
5.1.2. Sobre el control de agregados.....	17
5.1.3. Sobre los controles de producción y despacho de mezcla asfáltica.....	18
5.1.4. Sobre la mezcla asfáltica producida.....	20
5.1.5. Sobre la consistencia del diseño de mezcla vigente durante el periodo de estudio.....	25
6. CONCLUSIONES.....	32
7. RECOMENDACIONES.....	34

### LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> DETALLE DE LOS MUESTREOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.....	8
<b>TABLA 2.</b> PARÁMETROS GENERALES DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA SEGÚN INFORME N°1070-2012 EMITIDO POR LGC INGENIERÍA DE PAVIMENTOS S.A.....	9
<b>TABLA 3.</b> RESUMEN DE CALIBRACIONES DE ELEMENTOS SENSORES DE PESO, TEMPERATURA, FLUJO Y OTROS. 16	
<b>TABLA 4.</b> RESUMEN DE CALIBRACIONES DE LA BÁSCULA DE PESAJE DINÁMICO.....	17
<b>TABLA 5.</b> RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO EMITIDOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DEL LANAMMEUCR.....	21
<b>TABLA 6.</b> RESULTADOS DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA REPORTADOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DEL LANAMMEUCR.....	22
<b>TABLA 7.</b> ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.....	24
<b>TABLA 8.</b> ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.....	24
<b>TABLA 9.</b> GRANULOMETRÍA DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA DE ACUERDO CON INFORME N°1070-12.....	26
<b>TABLA 10.</b> VALORES DEFINIDOS PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD EN LA DISPOSICIÓN VIAL AM-01-2009. ..	28
<b>TABLA 11.</b> ANÁLISIS DEL RANGO EFECTIVO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA EL INFORME N°1070-2012.....	30

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE PLANTA HERNÁN SOLÍS, EN ABANGARES. ....	3
<b>FIGURA 2. RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DEL LANAMMEUCR .....</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 3. RESULTADOS DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA REPORTADOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DEL LANAMMEUCR MEDIANTE EL INFORME I-0398-12.....</b>	<b>23</b>
FIGURA 4. GRÁFICO COMPARATIVO DE GRANULOMETRÍA DE DISEÑO DE MEZCLA, RANGO DE DISEÑO Y LÍMITES DE ESPECIFICACIÓN SEGÚN LA DISPOSICIÓN VIAL AM-01-2009.....	27
<b>FIGURA 5. ANÁLISIS GRÁFICO DEL RANGO EFECTIVO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA EL INFORME Nº 1070-2012.....</b>	<b>31</b>

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1 SILO PRINCIPAL PARA ALMACENAJE DE MEZCLA ASFÁLTICA, FUERA DE SERVICIO. ....	12
<b>FOTOGRAFÍA 2 TOLVAS DE DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS. ....</b>	<b>12</b>
<b>FOTOGRAFÍA 3 FAJAS DE TRANSPORTE DE AGREGADOS Y TAMBOR SECADOR.....</b>	<b>13</b>
<b>FOTOGRAFÍA 4 CABINA DE CONTROL Y PLATAFORMA DE MUESTREO. ....</b>	<b>13</b>
<b>FOTOGRAFÍA 5 PLATAFORMA DE PESAJE. ....</b>	<b>14</b>
<b>FOTOGRAFÍA 6 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CEMENTO ASFÁLTICO, COMBUSTIBLES Y OTROS. ....</b>	<b>14</b>
FOTOGRAFÍA 7 PROBLEMAS CON EL COLECTOR DE POLVO (ABRIL 2013). ....	15
FOTOGRAFÍA 8 SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE ADITIVO AL ASFALTO, PROBLEMAS CON UNA MANGUERA PARA AIRE A PRESIÓN, (ABRIL 2013).....	15
<b>FOTOGRAFÍA 9 ETIQUETA DE CALIBRACIÓN, CORRESPONDIENTE A INDICADOR DE TEMPERATURA DE LA CASA DE FILTROS.....</b>	<b>17</b>
<b>FOTOGRAFÍA 10 ZONA DE APILAMIENTOS DE AGREGADOS. ....</b>	<b>18</b>
<b>FOTOGRAFÍA 11 GUÍA DE ENTREGA Y DESPACHO DE MEZCLA ASFÁLTICA. ....</b>	<b>19</b>

## INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA. EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA Y PLANTA DE PRODUCCION DE LA CONSTRUCTORA HERNÁN SOLÍS EN ABANGARES.

### 1. FUNDAMENTACIÓN

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

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

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

### 2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

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

#### 2.1. OBJETIVO DEL INFORME

El objetivo de este informe es valorar el diseño de mezcla utilizado por la planta para la producción de mezcla asfáltica, así como evaluar algunas de las actividades de control que aplica la Administración para control de envío y despacho de mezcla a los diferentes sitios de trabajo, de conformidad con lo que se establece en las especificaciones contractuales y las prácticas ordinarias para diseño de mezcla.

Informe final LM-PI-AT-048-13	Fecha de emisión: Noviembre de 2013	Página 6 de 35
----------------------------------	-------------------------------------	----------------

## 2.2. ALCANCE DEL INFORME

El estudio que realiza esta auditoría consiste en el análisis general del diseño de mezcla planteado por el laboratorio de control de calidad del contratista para la producción de mezcla asfáltica en la planta de la Constructora Hernán Solís ubicada en Abangares. Además, se determina la utilización de controles establecidos por la Administración para el despacho de mezcla asfáltica. La evaluación de la planta se realiza durante el mes de abril del presente año. Las muestras de mezcla asfáltica comprenden el periodo de abril y mayo de 2013.

## 2.3. ANTECEDENTES DEL INFORME

Como antecedente al presente informe, cabe destacar que ante la actual ausencia de organismos de ensayo que desarrollan las actividades de verificación de calidad, situación que se viene presentando desde el mes de octubre de 2012, la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR intensificó el programa de muestreos en las plantas de producción que suministran mezcla asfáltica en los "Proyectos de Conservación Vial de la Red Vial Nacional Pavimentada". De esta manera se pretende colaborar con la Administración en el proceso de verificación de cumplimiento de los requisitos de calidad de la mezcla asfáltica, al brindar algunos resultados referenciales mediante los oficios<sup>1</sup> LM-IC-D-0538-13, LM-IC-D-0772-13, LM-IC-D-0753-13, LM-IC-D-0807-13 y LM-IC-D-0870-13 relacionados con la variabilidad de la producción de mezcla asfáltica. Es importante mencionar que, a pesar de que al momento de las visitas no habían laboratorios ejecutando la labor de verificación de calidad, la Gerencia de Conservación de vías y puentes ya cuenta con la autorización por parte de la Contraloría General de la República para prorrogar la vigencia de del "Reglamento para la Contratación Especial de Organismos de Ensayo, para la obtención de los servicios de calidad de los proyectos de conservación vial de la red vial nacional pavimentada." La cual fue brindada mediante oficio No. 09593(DCA-2197) del 12 de setiembre de 2013, por lo que la Gerencia de Conservación de Vías y Puentes propone contar con servicios de verificación en las plantas de producción de mezcla asfáltica próximamente.

## 3. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR

- Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng. (Coordinadora de la Unidad de Auditorías Técnicas)
- Ing. Víctor Hugo Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
- Ing. Francisco Fonseca Chaves (Auditor Técnico)
- Lic. Miguel Chacón Alvarado (Asesor Legal)

## 4. 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

<sup>1</sup> Emitidos respectivamente, 8 de mayo, 26 de junio, 1 de julio, 16 de julio y 01 de agosto, del año 2013.

Informe final LM-PI-AT-048-13	Fecha de emisión: Noviembre de 2013	Página 7 de 35
----------------------------------	-------------------------------------	----------------

uno de los estudios desarrollados. Este proceso no limita a que algunas actividades puedan realizarse en conjunto con el auditado.

Durante el proceso de auditoría realizado por la Auditoría Técnica del LanammeUCR se visitaron las instalaciones de la planta asfáltica durante el mes de abril de 2013 y se tomaron muestras de la mezcla asfáltica por un periodo definido<sup>2</sup> para llevar a cabo las actividades de evaluación de la planta. Las muestras fueron tomadas de manera aleatoria en la planta de producción, 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 (ASTM D-6307 /ASTM-D-95) y la composición granulométrica (ASTM D 5444) de cada una de las muestras. Asimismo, se contactó al Ingeniero encargado de la planta para obtener información y documentación relacionada con el proceso de supervisión y control implementado para el despacho de mezcla.

Al mismo tiempo se obtuvieron muestras de cada uno de los materiales utilizados en la producción, tanto de ligante asfáltico como de material granular de cada uno de los apilamientos utilizados: fracción gruesa I, fracción gruesa II, intermedia y fina. El propósito de recolectar dichos materiales es establecer el factor de corrección tipificado para el ensayo de contenido de asfalto (ASTM D 6307), como parte del factor de corrección se determina también el contenido de humedad (ASTM D-95) presente en cada una de las muestras de mezcla asfáltica.

En la Tabla 1 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 1.** Detalle de los muestreos de mezcla asfáltica en caliente.

	<b>Muestra</b>	<b>Fecha</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Informe Lanamme</b>
1	800 -13	08/04/2013	Planta	I-0536-13
2	803 -13	09/04/2013	Planta	I-0536-13
3	807 -13	09/04/2013	Planta	I-0536-13
4	871 -13	17/04/2013	Planta	I-0642-13
5	873 -13	18/04/2013	Planta	I-0642-13
6	875 -13	19/04/2013	Planta	I-0642-13
7	1248 -13	28/05/2013	Planta	I-0703-13

<sup>2</sup> Los días 8, 9, 17, 18, 19 de abril y 28 de mayo de 2013 se tomaron muestras en las instalaciones de la planta.

El diseño de mezcla para ser producido en planta es el formulado por el laboratorio de LGC Ingeniería de Pavimentos S.A. identificado como el informe 1070-2012 "Diseño de Mezcla", con fecha 12 de Octubre de 2012, elaborado por el laboratorio LGC. En la

Tabla 2 se resumen los parámetros generales definidos en cada uno de los documentos mencionados.

**Tabla 2.** Parámetros generales del diseño de mezcla asfáltica según informe N°1070-2012 emitido por LGC Ingeniería de Pavimentos S.A.

Parámetro	Inf. N°1070-2012 (con aditivo)
	Valores
Contenido óptimo de asfalto sobre peso de mezcla	6,20 %
Aditivo	Butonal NX-1138 (3,5% total)
Proporción de agregados	48 % (Finos)
	4 % (Intermedios)
	4 % (Gruesos I)
	44 % (Gruesos II)
Granulometría de diseño	19 mm

#### 4.1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA

La planta de producción de mezcla asfáltica ubicada en Abangares, es marca TEREX con una disposición del proceso de producción de forma continua. La planta produce mezcla asfáltica para actividades de conservación vial de acuerdo con la Licitación Pública 2009LN-000003-CV para la Línea 5, zona 2-2 Cañas. Durante la visita realizada durante el mes de abril de 2013 a la planta se informa que se suministra mezcla asfáltica a la Constructora Hernán Solís para realizar bacheo en los siguientes lugares: Barrio Guadalupe (Z.2-1 Liberia), Malinche (Z.3-1 Puntarenas), Naranja (Z.1-5 Alajuela), Nuevo Arenal-Tapón (Z.2-2 Cañas), Paquera (Z.2-4 Nicoya), Santa Cruz-Río Cañas (Z.2-3 Santa Cruz) y Tanque Fortuna (Z.6-2 Los Chiles). Adicionalmente, se despachaba mezcla asfáltica con polímero para colocación de carpetas en Tenorio (Z.2-2 Cañas).

El laboratorio contratado por el contratista para realizar las actividades de control de calidad es el laboratorio "LGC Ingeniería de Pavimentos" (en adelante LGC) que tiene unas instalaciones en la planta de producción, para realizar los ensayos Marshall a la mezcla asfáltica y contenido de asfalto.

En cuanto a las labores de Verificación de Calidad al momento de la visita a esta planta asfáltica aún la Administración no ha designado Organismos de Ensayo que realicen tal labor, ya que no se ha logrado sacar a concurso el cartel que promueve tal labor.

#### 5. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Informe final LM-PI-AT-048-13	Fecha de emisión: Noviembre de 2013	Página 9 de 35
----------------------------------	-------------------------------------	----------------

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.

## 5.1. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA

Las diversas propiedades que define la metodología de diseño de mezcla tienen como principal objetivo establecer la combinación más económica de los agregados y el asfalto que permita a la capa de ruedo ser durable, tener mayor resistencia a la deformación y a la presencia de humedad. Mediante este proceso (diseño de mezcla) se establecen los requisitos y las tolerancias especificados que debe cumplir la mezcla asfáltica según la metodología que se emplee.

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.

### 5.1.1. Sobre la planta de producción de mezcla asfáltica

#### **HALLAZGO N° 1: LA PLANTA DE ASFALTO CUMPLE 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 Hernán Solís en Abangares, con el propósito de valorar si se continuaban manteniendo las

Informe final LM-PI-AT-048-13	Fecha de emisión: Noviembre de 2013	Página 10 de 35
----------------------------------	-------------------------------------	-----------------

condiciones valoradas en el informe LM-PI-AT-59-12, en el que se consideraron diferentes aspectos de los componentes de la misma así como los requisitos mínimos solicitados en la disposición general vigente AM-03-2001 y en el Cartel de Licitación Pública N° 2009LN-000003-CV.

### Componentes generales

La planta de producción de mezcla asfáltica está conformada por tolvas, fajas transportadoras, tambor secador y mezclador, quemador, tanque de almacenamiento del asfalto / combustible, bomba de asfalto, plataforma de pesaje y cabina de control entre otros elementos. En las Fotografía 1 a la Fotografía 10 se muestra el detalle de cada uno de los diferentes componentes mencionados.

Se mantienen cuatro tolvas individuales, 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.

La planta cuenta con un silo de almacenaje de la mezcla asfáltica producida; sin embargo, el mismo no estaba siendo utilizado y está desligado del resto de la planta de producción. La mezcla asfáltica producida se vertía directamente en las vagonetas a través de una cadena de arrastre o elevador.

En cuanto a la cabina de control se observa que cuenta con dispositivos automáticos y digitales para el control y monitoreo de la producción de la mezcla asfáltica, tales como control de la temperatura de asfalto, ajustes 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 (Fotografía 4). Asimismo, en la Fotografía 4, se observa una plataforma para la realización del muestreo de la mezcla asfáltica de forma segura.

La planta cuenta con un sistema de pesaje automático que posee seis celdas de carga, el detalle de estos componentes se muestra en la Fotografía 5. El detalle de la revisión de las calibraciones de este sistema, así como los controles aplicados por parte del inspector de CONAVI para el pesaje de vagonetas se analizan más adelante.

Durante la visita realizada el 08 de abril de 2013 se logró observar que la cámara de filtros (colector de polvo) estaba presentando problemas, ya que se evidenció que la chimenea del colector de polvo expulsaba gases con cierto grado de opacidad, lo cual es una indicación de que el sistema no estaba funcionando eficientemente. Sin embargo para el 09 de abril de 2013 se logró observar que las bolsas que componen la cámara de filtros había sido sustituidas. (Fotografía 7). Es importante regular con rigor la cantidad de finos, ya que puede variar la relación polvo/asfalto y esto puede a la vez afectar la rigidez de la mezcla asfáltica resultante.

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, que mediante pulsaciones, adiciona una cantidad de polímero al asfalto en caliente,

Informe final LM-PI-AT-048-13	Fecha de emisión: Noviembre de 2013	Página 11 de 35
----------------------------------	-------------------------------------	-----------------

el cual es posteriormente incorporado al asfalto en el proceso de combinación que sucede en el tambor mezclador. Ver Fotografía 8

Igualmente se logró advertir que una de las mangueras utilizadas para mantener la presión de aire, en el sistema dosificador de aditivo, presentaba una rotura al momento de la visita (Fotografía 7). Lo cual puede afectar la presión presente en el sistema dosificador, influyendo en la cantidad de aditivo que se dosifica en la mezcla asfáltica.

*Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Sección 3 de las Especificaciones Especiales "Planta Mezcladora de Asfalto" del cartel de Licitación para los Proyectos de Conservación Vial Red Vial Nacional Pavimentada Licitación Pública N° 2009LN-000003-CV.*



**Fotografía 1** Silo principal para almacenaje de mezcla asfáltica, fuera de servicio.



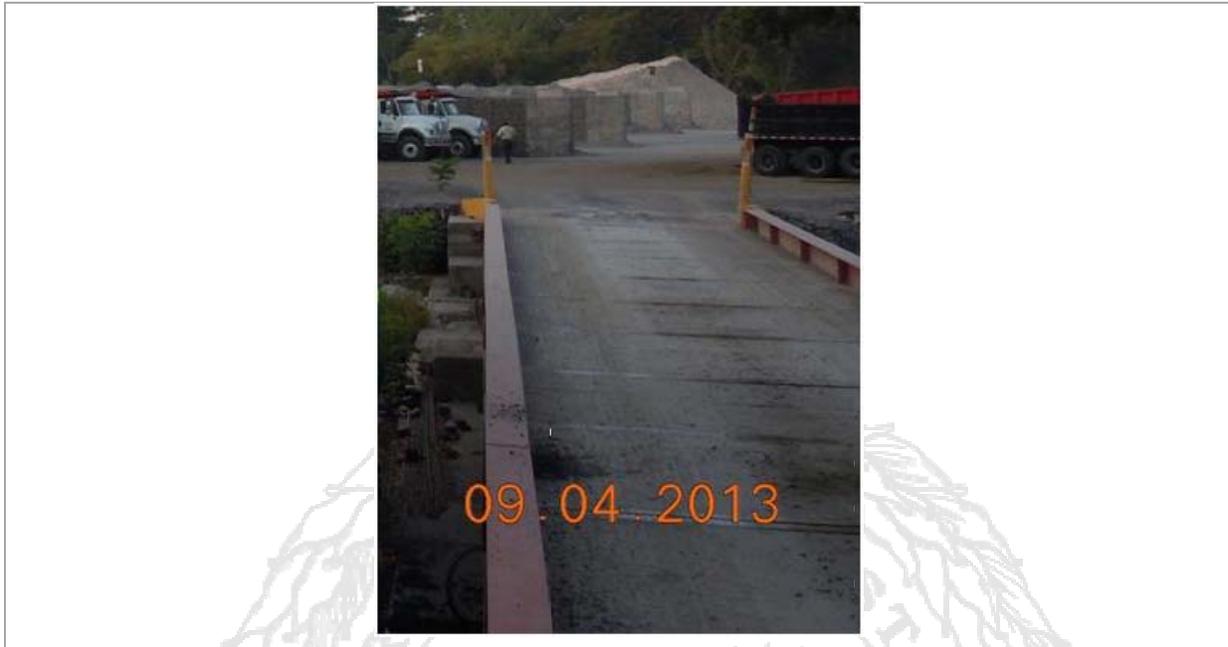
**Fotografía 2** Tolvas de dosificación de agregados.



**Fotografía 3** Fajas de transporte de agregados y tambor secador.



**Fotografía 4** Cabina de control y plataforma de muestreo.



**Fotografía 5** Plataforma de pesaje.



**Fotografía 6** Tanques de almacenamiento de cemento asfáltico, combustibles y otros.



**Fotografía 7** Problemas con el colector de polvo (abril 2013).



**Fotografía 8** Sistema de dosificación de aditivo al asfalto, problemas con una manguera para aire a presión, (abril 2013).

## HALLAZGO Nº 2: EXISTEN COMPONENTES DE LA PLANTA QUE NO SE MANTIENEN BAJO CONTROL METROLÓGICO SEGÚN LO ESTIPULADO EN LA DOCUMENTACIÓN CONTRACTUAL.

Al analizar la documentación relacionada con las actividades de control metrológico implementadas por la Constructora Hernán Solís en la planta de producción de mezcla asfáltica en Abangares, durante la visita (abril 2013), se determinó que se realizaron actividades de calibración en los siguientes componentes: indicadores de temperatura del tanque de asfalto y mezcla asfáltica, así como el indicador de temperatura de la casa de filtros (fotografía 9) y el indicador de temperatura de asfalto, llevándose a cabo dichas actividades el día 09 de julio de 2012<sup>3</sup>, tal como se detalla en la

Tabla 3.

Lo anterior evidencia que estos componentes no se mantienen bajo actividades de calibración vigentes, tal como lo requiere el cartel de licitación de esta contratación, en donde se indica que dichas calibraciones deben mantener una periodicidad semestral.

**Tabla 3.** Resumen de calibraciones de elementos sensores de peso, temperatura, flujo y otros.

COMPONENTE	Fecha	Certificado y Etiqueta
Indicador Temperatura Asfalto-RTD (3 hilos)	09/07/2012	20120709-57-3
Indicador Temperatura de Mezcla-RTD (3 hilos)	09/07/2012	20120709-57-2
Indicador Temperatura Casa filtro-RTD (3 hilos)	09/07/2012	20120709-57-4
Termómetro Tanque Asfalto - Termopar Tipo J	09/07/2012	20120709-57-1

Con respecto al sistema de pesaje se determinó que la última actividad de control metrológico fue realizada en el mes de septiembre del 2012, y corresponde a una calibración de equipos de pesaje según se muestra en la Tabla 4. Posteriormente, el 15 de marzo de 2013, se realizan actividades de mantenimiento del sistema de pesaje, quedando evidenciado en un reporte de servicio, lo cual no satisface lo indicado en el cartel de licitación vigente:

*“La mezcla asfáltica deberá ser medida para su entrega en puentes de pesaje, a través de un sistema que determine el peso de la mezcla asfáltica en una sola medición. Este sistema deberá ser automático y estar debidamente calibrado antes de iniciar cualquier medición para la Administración y posteriormente repetir la calibración cada 3 meses. Las calibraciones deben ser efectuadas por organismos con competencia técnica. Además, deberán realizarse comprobaciones mensuales como mínimo de las romanas por medio de patrones de trabajo o equipo debidamente calibrado o cuando sea requerido por la Unidad de Supervisión (el subrayado no es el texto original).”*

<sup>3</sup> En el informe LM-AT-058-12, se determinó que la última actividad de calibración se había efectuado el día 09 de julio de 2012, sin embargo para dicho informe los certificados de calibración aún no se encontraban en la planta productora de asfalto.



**Fotografía 9** Etiqueta de calibración, correspondiente a indicador de temperatura de la casa de filtros.

**Tabla 4.** Resumen de calibraciones de la báscula de pesaje dinámico.

COMPONENTE	Fecha	Documento	Identificación	Magnitud
Báscula de pesaje Dinámico	06/08/2012	Certificado de Calibración de Equipos de Pesaje	CM06082012-02F	1000- 15 040 kg
	15/03/2013	Reporte de Mantenimiento	Registro R.24 N°29261	1000 - 27330 kg

*Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Sección 3 de las Especificaciones Especiales "Planta Mezcladora de Asfalto" del cartel de Licitación para los Proyectos de Conservación Vial Red Vial Nacional Pavimentada Licitación Pública N° 2009LN-000003-CV.*

### 5.1.2. 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**

El diseño de mezcla vigente, informe N°1070-2012 emitido por LGC Ingeniería de Pavimentos S.A, indican<sup>4</sup> que se están utilizando agregados del Quebrador Procamar, constituidos en cuatro apilamientos a saber: agregado grueso I (pasando 19,0 mm y retenido en 15,9 mm) agregado grueso II (pasando 15,9 mm y retenido en 9,5 mm), agregado

<sup>4</sup> Durante el mes de setiembre de 2012 se realiza el muestreo de los agregados indicados en el diseño de mezcla N°1070-2012. En la visita efectuada en el mes de abril de 2013, se corrobora que dicho diseño se mantiene vigente mediante el documento verificación de mezcla asfáltica N°0339-2013.

intermedio (pasando 9,5 mm y retenido en 6,4 mm) y agregados finos (pasando 6,4 mm). Dichos apilamientos se mantienen separados entre sí por medio de muros para evitar la posible contaminación entre apilamientos, según se aprecia en la Fotografía 10.

En general, la zona de apilamiento de los agregados es un área amplia para mantener las cuatro fracciones que se solicitan contractualmente, considerando que además se mantienen otros apilamientos de materiales calizos ajenos a la producción de mezcla asfáltica brindada a los proyectos de conservación del CONAVI, de acuerdo con lo indicado a esta auditoría. No obstante, el contrato establece que la planta debe contar con dos apilamientos para cada fracción de material, y solamente se observó un apilamiento por fracción.

### Control de agregados

Según se observó en la bitácora del técnico de control de calidad, los controles de humedad de los apilamientos se realizan diariamente durante el proceso productivo cada dos horas, aproximadamente. Adicionalmente, se realizan controles de la granulometría de cada uno de los apilamientos de forma diaria.



**Fotografía 10** Zona de apilamientos de agregados.

### **5.1.3. Sobre los controles de producción y despacho de mezcla asfáltica**

**OBSERVACIÓN N°1: LAS ACTIVIDADES DE SUPERVISIÓN DE PRODUCCIÓN Y DESPACHO DE MEZCLA ASFÁLTICA SE REALIZAN DE ACUERDO CON LO INDICADO EN EL CARTEL.**

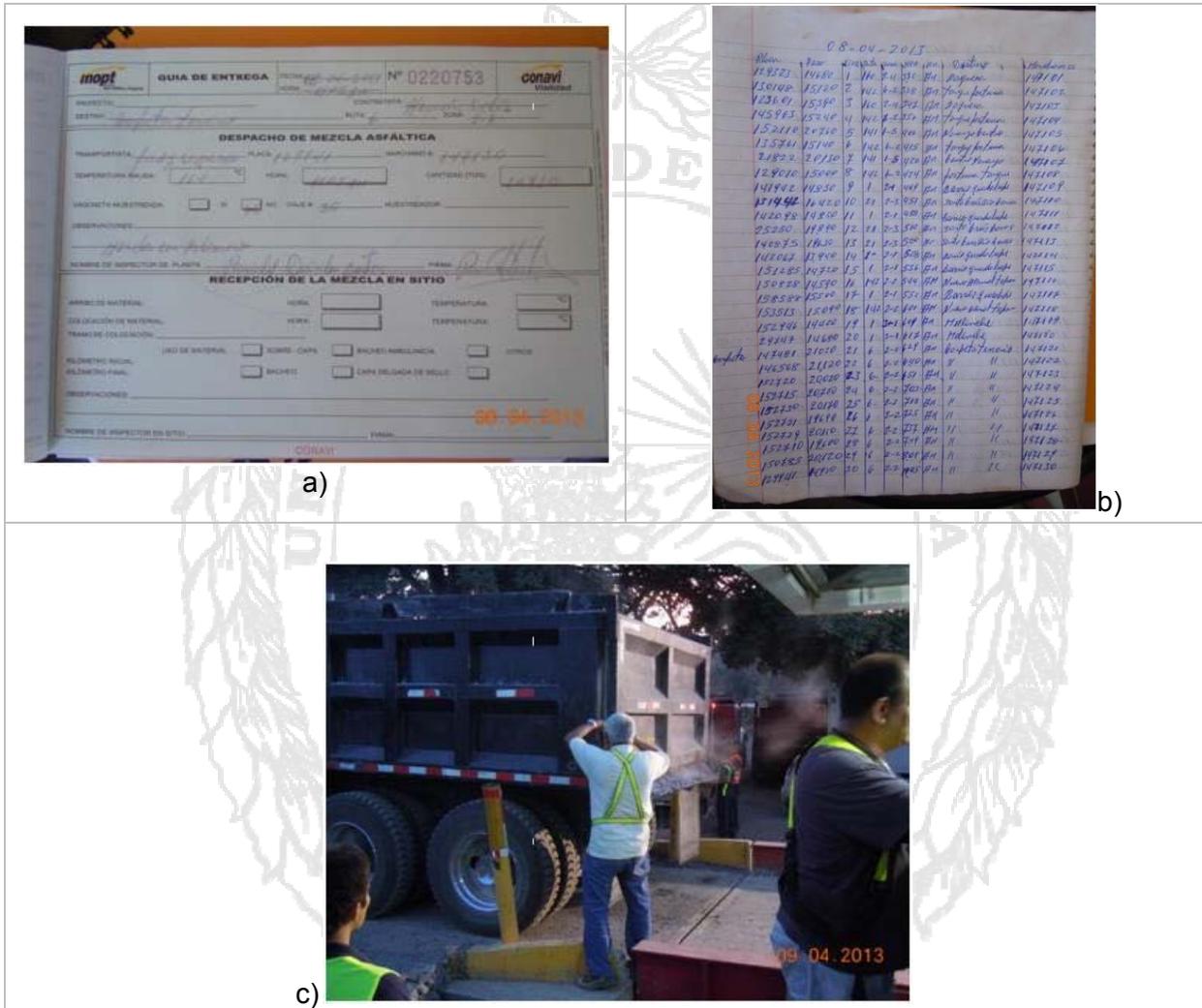
La planta asfáltica mantiene un inspector<sup>5</sup> destacado por parte del Conavi, según confirmó el equipo auditor durante la visita realizadas en el mes de abril. El inspector de planta se encarga de supervisar la producción de mezcla asfáltica en caliente y el despacho de mezcla a las diferentes zonas de Conservación Vial que abastece la planta de Abangares (Zona.1-5

<sup>5</sup> Para abril de 2013 el inspector destacado es el señor Ronald Dávila Bustos, quien pertenece al Organismo de Inspección de las zonas 2-1 y 2-3.

Informe final LM-PI-AT-048-13	Fecha de emisión: Noviembre de 2013	Página 18 de 35
----------------------------------	-------------------------------------	-----------------

Alajuela, Zona.2-1 Liberia, Zona.2-2 Cañas, Zona.2-3 Santa Cruz, Zona.2-4 Nicoya, Zona.3-1 Puntarenas y Zona.6-2 Los Chiles). El inspector mantiene implementados diversos controles documentales, entre ellos:

- Guías de entrega y bitácora de despacho de mezcla (Fotografía 11a y 11b), en la que se registra la identificación de la vagoneta, el destino, el tonelaje de mezcla, temperatura, entre otros datos.
- Entrega y control de marchamos de Conavi (fotografía 11c).



**Fotografía 11** Guía de entrega y despacho de mezcla asfáltica.

Además el inspector registra en las guías de entrega información relacionada con el muestreo en planta, en donde anota la vagoneta en la cual se realizó el muestreo y personal que efectúa el muestreo, hora de viaje entre otra información; sin embargo, no se evidencia si el muestreo corresponde a control o verificación de calidad, ya que únicamente se anota el nombre de la persona que realizó el muestreo.

En la visita realizada no se observó que el inspector portara una termocupla para medir las temperaturas de la mezcla despachada, solamente se registra la temperatura de salida reportada por la planta de asfalto.

#### 5.1.4. Sobre la mezcla asfáltica producida

**HALLAZGO N° 4: SE OBSERVA QUE 2 DE LAS 6 MUESTRAS ANALIZADAS PRESENTAN UN VALOR DE CONTENIDO DE ASFALTO FUERA DEL RANGO ÓPTIMO  $\pm 0,5\%$  (5,7 %- 6,7 %) ESTABLECIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLA VIGENTE.**

Los requisitos para la mezcla asfáltica señalados en las especificaciones nacionales, apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2009, 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.

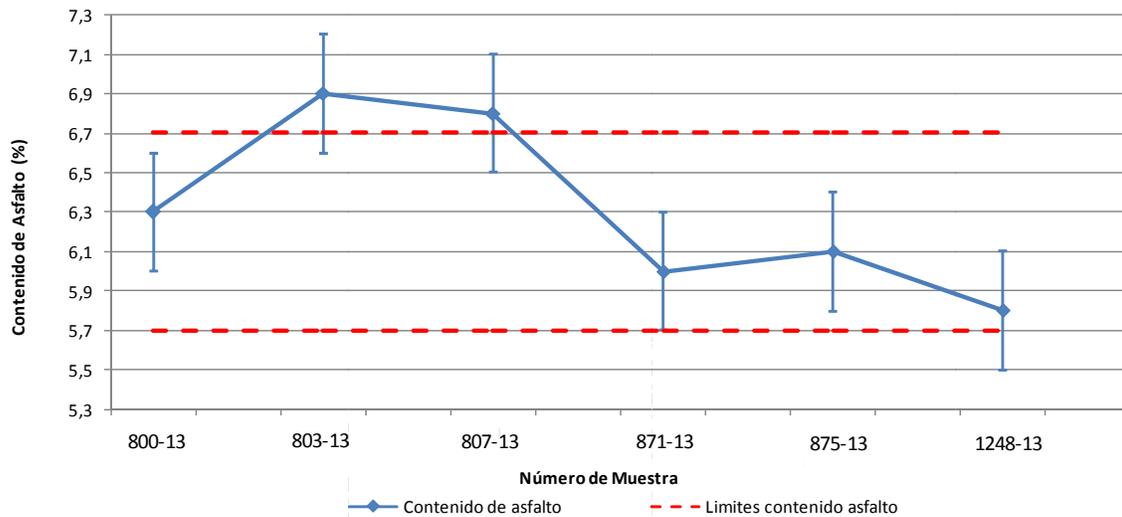
De acuerdo con el diseño de mezcla vigente<sup>6</sup> para la producción de abril de 2013 la mezcla asfáltica en caliente, identificado como informe N° 1070-2012 emitido por LGC Ingeniería de Pavimentos S.A, el valor óptimo de asfalto está definido como  $6,2 \pm 0,5\%$  sobre el peso de la mezcla, lo cual define que los límites permisibles del rango de contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica producida son 5,7 % y 6,7 %.

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en los Informes de Ensayo I-484-13, I-549-13, I-563-13, I-627-13, I-677-13 y I-708-13, se evidencia que dos de los resultados de contenido de asfalto son mayores al límite superior permisible, correspondiente a las muestras 0803-13 y 0807-13.

En la Figura 2 se presentan gráficamente los resultados de los ensayos de las muestras analizadas, de la producción del mes de abril. 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.

Se evidencia que para las muestras 871-13, 875-13 y 1248-13 los resultados de contenido de asfalto se encuentran entre el contenido óptimo de asfalto y el límite inferior, lo cual podría advertir un comportamiento característico de la producción de mezcla relacionado con el contenido de asfalto, exponiendo al proceso productivo a una situación potencial de riesgo de incumplimiento, ya que pequeñas variaciones en el contenido de asfalto podrían provocar incumplir el límite inferior. Incluso tan solo al considerar la incertidumbre del resultado de ensayo para cada valor (barras verticales en el gráfico) podría determinarse un riesgo de incumplimiento mayor, ya que potencialmente 1 resultado podría estar por debajo del límite inferior.

<sup>6</sup> Durante la visita a la planta en abril de 2013, fue proporcionado al equipo auditor el informe 1070-2012 "Diseño de Mezcla" con fecha 12 de octubre de 2012, igualmente después se le entrega a esta auditoría el informe 339-2013 "Verificación Diseño de Mezcla", emitido el día 18 de abril de 2013.



**Figura 2.** Resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica ensayadas por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR

En la Tabla 5 se resumen los resultados obtenidos para cada una de las muestras analizadas y se resalta el resultado que se encuentra fuera del rango óptimo de contenido de asfalto establecido en el diseño de mezcla.

**Tabla 5.** Resultados de contenido de asfalto emitidos por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR.

Muestra	Fecha	Punto de muestreo	Contenido (%)		
			Agua	Asfalto	
Límite inferior			0,50	5,7	
Límite superior			0,50	6,7	
1	800 -13	08/04/2013	Planta	0,50	6,3
2	803 -13	09/04/2013	Planta	0,43	6,9
3	807 -13	09/04/2013	Planta	0,32	6,8
4	871 -13	17/04/2013	Planta	0,50	6,0
5	875 -13	19/04/2013	Planta	0,50	6,1
6	1248 -13	28/05/2013	Planta	0,57	5,8
Promedio				0,47	6,32
Desv. Estándar				0,08	0,41

*El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación: Apartado 401.06 "Requisitos para la mezcla asfáltica" de la Disposición Vial AM-01-2009.*

Al presentarse una cantidad de asfalto mayor a la requerida en el diseño de mezcla, es posible que se produzca un excedente de asfalto que podría provocar la formación de roderas o exudación de asfalto.

**HALLAZGO Nº 5: LOS RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS REPORTADOS PARA LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS CUMPLEN LOS LÍMITES DE ESPECIFICACIÓN PARA LA GRANULOMETRÍA DE DISEÑO APLICADA (TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 12,5 MM) ESTABLECIDOS EN LA DISPOSICIÓN VIAL AM-01-2009.**

Los resultados de la composición granulométrica de las muestras de mezcla asfáltica analizadas, de la producción de enero se detallan en la Tabla 6. Dichos resultados corresponden al ensayo ASTM D-5444 "Análisis mecánico del agregado extraído" que realizó el laboratorio del LanammeUCR, los cuales fueron reportados en los Informes de Ensayo I-484-13, I-549-13, I-563-13, I-627-13, I-677-13 y I-708-13, emitidos por el Laboratorio de Infraestructura Vial.

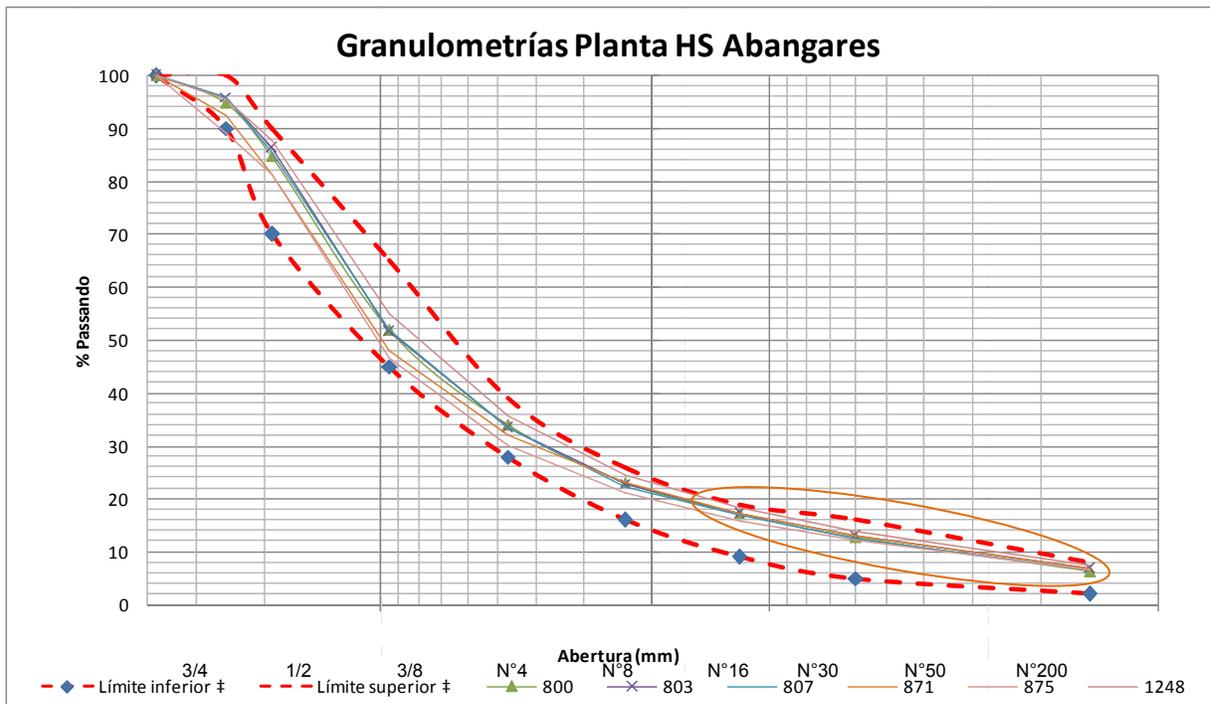
**Tabla 6.** Resultados de composición granulométrica reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR.

Muestra	Fecha muestreo	Muestreo	Mallas									
			19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	4,75 mm (Nº4)	2,36 mm (Nº8)	1,18 mm (Nº16)	600 µm (Nº30)	300 µm (Nº50)	75 µm (Nº200)	
<b>Límite inferior</b> ‡			100	90	70	45	28	16	9	5	2	
<b>Límite superior</b> ‡			100	100	90	65	39	26	19	16	8	
1	800 -13	08/04/2013	Planta	100	94,9	84,8	51,9	34,0	23,2	17,3	12,7	6,3
2	803 -13	09/04/2013	Planta	100	96,0	86,3	51,7	33,4	22,9	17,1	12,9	6,9
3	807 -13	09/04/2013	Planta	100	96,0	85,5	52,0	33,4	22,3	16,9	12,4	6,5
4	871 -13	17/04/2013	Planta	100	92,4	81,2	48,1	32,1	23,0	17,3	13,0	6,9
5	875 -13	19/04/2013	Planta	100	89,3	81,2	46,5	30,0	21,1	15,9	12,2	6,7
6	1248 -13	28/05/2013	Planta	100	95,5	87,8	55,0	35,7	24,4	18,4	13,8	7,4
<b>Promedio</b>				100	94,0	84,5	50,9	33,1	22,8	17,2	12,8	6,8
<b>Desv. Estándar</b>				0,00	2,67	2,72	3,06	1,92	1,09	0,80	0,55	0,38

‡ Según la Tabla 1 del apartado 401.04.02.01 de la Disposición Vial AM-01-2009.

De los resultados presentados en la Tabla 6 se determina que solamente un valor incumple los requisitos establecidos con respecto a los límites de tamaño granulométrico establecidos en la Tabla 1 de la Disposición Vial AM-01-2009 para la granulometría de diseño para agregado con tamaño máximo de 12,5 mm.

Sin embargo, de la representación gráfica mostrada en la Figura 3, se denota que las curvas granulométricas para los agregados finos (malla Nº8 a Nº200) se encuentran cercanas al límite superior especificado en la normativa vigente, lo cual implicaba una composición granulométrica más gruesa y por ende propensa a permitir mayor cantidad de vacíos entre las partículas de agregado.



**Figura 3.** Resultados de composición granulométrica reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR mediante el informe I-0398-12.

*El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación: Tabla 1 Apartado 401.04.02.01 Graduación de la combinación de agregados" de la Disposición Vial AM-01-2001.*

**HALLAZGO Nº 6: SE OBSERVA QUE LAS 7 MUESTRAS ANALIZADAS PRESENTAN INCUMPLIMIENTOS EN ALGUNO DE LOS PARÁMETROS MARSHALL ESTABLECIDOS EN LA DISPOSICIÓN VIAL AM-01-2001.**

Según 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 es 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 7.** Especificación de parámetros según el método Marshall

Parámetro		Especificaciones
Estabilidad		Mínimo 800 kg
Flujo		20 a 35 <sup>1</sup> / <sub>100</sub> cm
Vacíos en la mezcla		3% a 5%
Relación polvo/asfalto		0,6 a 1,3 %
Vacíos en agregado mineral (VAM)		Mínimo 14%
Vacíos llenos de asfalto (VFA)		
Tráfico en millones de ejes equivalentes	Inferior a 0,3 (liviano)	70% a 80%
	De 0,3 a 3 (medio)	65% a 78%
	Superior o igual a 3 (pesado)	65% a 75%

Con el propósito de corroborar el cumplimiento de estas especificaciones el LanammeUCR procedió a realizar muestreos en la planta de producción de la empresa Hernán Solís ubicada en Abangares. En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 8.** Especificación de parámetros según el método Marshall

Muestra	Fecha	Punto de muestreo	Informe Lanamme	Gravedad Especifica Agregado	Gravedad Especific Bruta	Gravedad Máxima Teórica	Vacíos (%)	Estabilidad (kgf)	Flujo (1/100cm)	VMA (%)	VFA (%)	Relación polvo / asf	
Límite inferior				-	-	-	3	800	20	13	65	0,6	
Límite superior				-	-	-	5	-	35	-	75	1,3	
1	800 -13	08/04/2013	Planta	I-0536-13	2,595	2,377	2,447	<b>2,8</b>	2049	31,2	<b>13,5</b>	<b>79,0</b>	<b>1,33</b>
2	803 -13	09/04/2013	Planta	I-0536-13	2,595	2,382	2,431	<b>2,0</b>	1897	31,2	14,2	<b>86,3</b>	1,28
3	807 -13	09/04/2013	Planta	I-0536-13	2,595	2,389	2,443	<b>2,2</b>	1837	30,7	14,2	<b>84,3</b>	1,27
4	871 -13	17/04/2013	Planta	I-0642-13	2,595	2,404	2,461	<b>2,3</b>	2072	30,0	<b>12,9</b>	<b>82,0</b>	<b>1,53</b>
5	873 -13	18/04/2013	Planta	I-0642-13	2,595	2,382	2,459	3,1	2259	31,4	14,0	<b>77,6</b>	<b>1,48</b>
6	875 -13	19/04/2013	Planta	I-0642-13	2,595	2,384	2,462	3,2	1842	31,0	<b>13,7</b>	<b>76,9</b>	<b>1,48</b>
7	1248 -13	28/05/2013	Planta	I-0703-13	2,595	2,382	2,455	3,0	2186	30,3	<b>13,5</b>	<b>78,1</b>	<b>1,63</b>
Promedio					2,595	2,386	2,451	2,7	2020	30,8	13,7	80,6	1,43
Desviación Estándar					0,000	0,009	0,011	0,5	168	0,5	0,5	3,6	0,14

Se puede observar que las 7 muestras ensayadas presenta incumplimientos en 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 bajos en la cantidad de vacíos, lo que puede ocasionar mezcla

susceptible a la exudación de asfalto o deformación plástica. En cuanto a los vacíos en el agregado mineral (VMA) se denota que los valores están cercanos al límite e incluso tres de los resultados no cumplen el valor mínimo, lo que podría producir problemas de durabilidad de la mezcla producida.

En cuanto al parámetro vacíos llenos de asfalto (VFA) se establece que muestra una tendencia a superar el límite superior de la especificación, siendo el factor que exhibe un incumplimiento constante en las muestras analizadas.

Similar comportamiento se puede observar con el parámetro de relación polvo/asfalto, mostrando una tendencia a la parte superior del rango, de modo que 5 muestras superan el valor máximo especificado. Estos resultados representan una mezcla asfáltica con una alta susceptibilidad a generar deterioros tales como exudación, desplazamiento y ahuellamiento.

Tal como se verá posteriormente el análisis del Diseño de Mezcla, revelaba que existía un riesgo potencial de incumplimiento en:

- El parámetro de vacíos mostraba que producciones de mezcla asfáltica con contenidos de asfalto cercanos al límite superior de asfalto permitido, evidenciaban un riesgo de alcanzar valores bajos en el porcentaje de vacíos presente en la mezcla, tal como se evidencia en los resultados de la mezcla asfáltica ensayada (Tabla 8).
- En cuanto al parámetro de vacíos llenos de asfalto (VFA), se evidenciaba que valores mayores al mismo valor óptimo de asfalto (6,2%), determinaban incumplimientos en el rango alto del mismo, tal como se evidenció en las muestras de mezcla asfáltica ensayadas por el LanammeUCR (Tabla 8).

#### **5.1.5. Sobre la consistencia del diseño de mezcla vigente durante el periodo de estudio**

**HALLAZGO N° 7: LA TOLERANCIA PERMITIDA PARA LA GRANULOMETRÍA PROPUESTA EN EL DISEÑO DE MEZCLA (INFORME N° 1070-2012) SE RESTRINGE PARA LOGRAR CUMPLIR LOS LÍMITES DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MALLAS 1/2", N° 4 Y N° 30.**

Con el propósito de corroborar que la tolerancia de la granulometría de diseño determinada en el informe de diseño de mezcla N° 1070-2012 cumple satisfactoriamente con las especificadas para la "Graduación de la combinación de agregados" en la Tabla 2 de la Disposición AM-01-2009<sup>7</sup>, se realiza una comparación de los límites especificados para cada tamaño granulométrico con los valores extremos del rango, resultantes al aplicar la tolerancia establecida en la tabla mencionada. En las Tabla 9 se detallan los resultados de la comparación realizada.

<sup>7</sup> Includo en el Anexo I "Capítulo 400" del Cartel de Licitación 2009LN-000003-CV.

Informe final LM-PI-AT-048-13	Fecha de emisión: Noviembre de 2013	Página 25 de 35
----------------------------------	-------------------------------------	-----------------

Como resultado del análisis del rango de diseño, se evidenció que los valores indicados de porcentaje de agregado que pasa las mallas 1/2", N° 4 y N° 30, se encuentran por encima o debajo del límite de la especificación. Lo cual restringe el rango de tolerancia permitido en 2 unidades (de 5) para la malla 1/2", en 2 unidades (de 4) para la malla N°4 y 1 unidad (de 3) para la malla N° 30.

Además el límite superior del rango de diseño coincide con el límite de especificación para la malla de N° 16. Debe considerarse que el límite superior del rango de diseño para la malla N°200 se establece muy cercano a la especificación, lo cual genera un riesgo de potencial incumplimiento para dicha malla.

En la Figura 4 se muestra gráficamente la comparación entre los límites del rango de diseño y los límites de especificación.

**Tabla 9.** Granulometría del diseño de mezcla asfáltica de acuerdo con informe N°1070-12.

Mallas	Rango de especificación (1)	Tolerancia de granulometría (1) (2)	Granulometría de diseño	Rango de diseño (3)	Tolerancia real de granulometría (1) (2)
¾ (19,1 mm)	100	-----	100	100	-----
½ (12,5 mm)	90 – 100	± 5	97	92– <b>102</b>	-5/+3
⅜ (9,5 mm)	70 – 90	± 5	80	75– 85	± 5
N° 4 (4,75 mm)	45 – 65	± 4	47	<b>43</b> – 51	-2/+4
N° 8 (2,36 mm)	28 – 39	± 4	33	29 – 37	± 4
N° 16 (1,18 mm)	16 – 26	± 4	22	18 – <b>26</b>	± 4
N° 30 (600 µm)	9 – 19	± 4	16	12 – <b>20</b>	-4/+3
N° 50 (300 µm)	5 – 16	± 4	11	7 – 15	± 4
N° 200 (75 µm)	2 – 8	± 2	5,8	3,8 – <b>7,8</b>	± 2

(1) De acuerdo con los valores establecidos para la graduación de 12,5 mm en la Tabla 1 del apartado 401.04.02.01 de la Disposición Vial AM-01-2009.

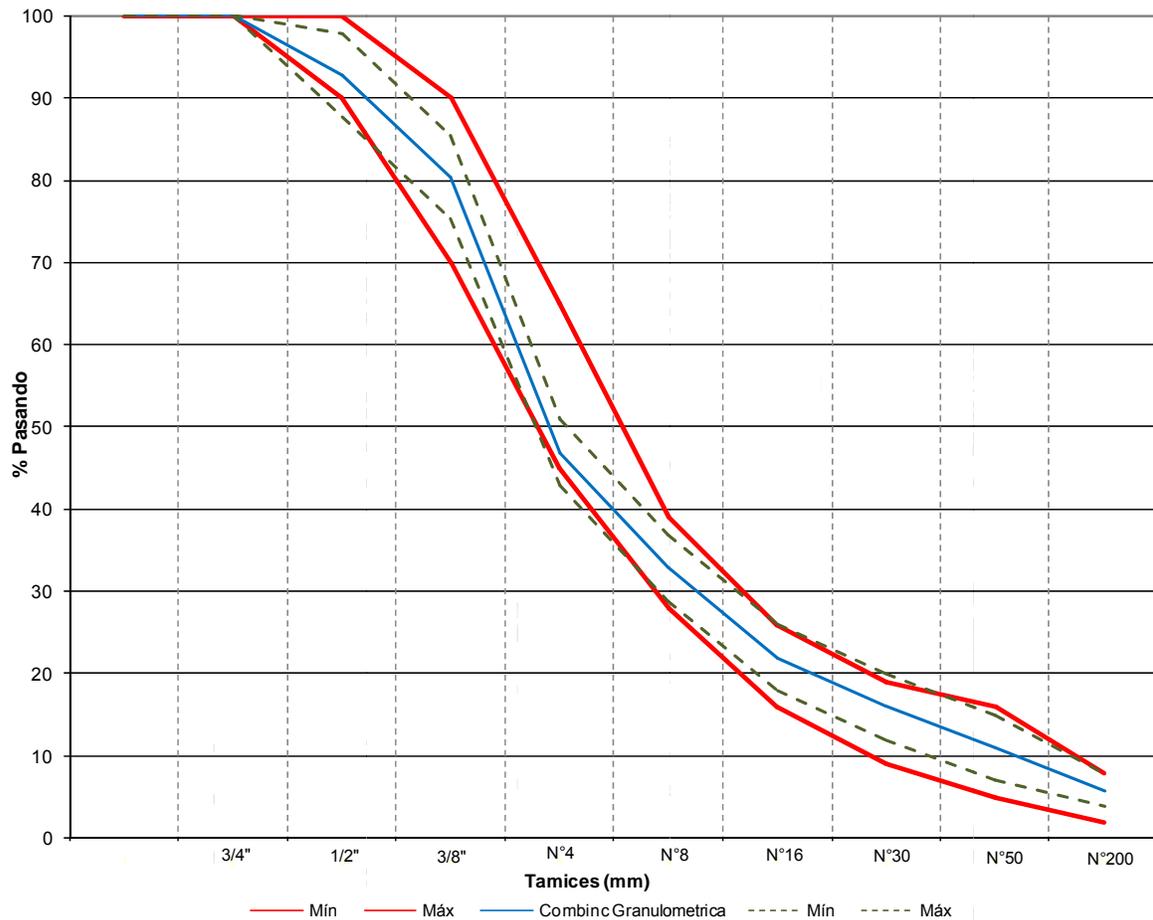
(2) La tolerancia es la desviación permisible al valor propuesto en la granulometría de diseño, sin salirse del rango especificado. La tolerancia es absoluta.

(3) El rango de diseño se obtiene al aplicar la tolerancia a la granulometría de diseño propuesta.

Cuando los límites del rango de diseño sobrepasan los límites de especificación (inferior o superior) reduce el ámbito en el que puede variar la combinación granulométrica durante el proceso productivo; asimismo, la coincidencia entre los límites del rango de diseño y los límites de especificación, podría representar un riesgo potencial de incumplimiento como producto de la variabilidad propia del proceso de producción. Tal como sucede con el tamaño granulométrico de las mallas 1/2", N° 4 y N° 30 en donde la magnitud del rango se reduce en un 40%, 50% y 33% hacia los límites indicados anteriormente, lo cual implica que por condiciones del diseño de mezcla el porcentaje de agregado que pasan dichas mallas solamente puede variar en menores magnitud que las permitidas por la especificación.

El riesgo de incumplimiento se produce cuando la granulometría de trabajo se acerca a algún límite del rango de diseño, y este límite coincide con el límite de especificación, lo cual no

permite tener un margen de seguridad para cumplir con la especificación y ajustar la granulometría durante el proceso productivo.



**Figura 4.** Gráfico comparativo de granulometría de diseño de mezcla, rango de diseño y límites de especificación según la Disposición Vial AM-01-2009.

*Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Tabla 2 Apartado 401.04.02.01 Graduación de la combinación de agregados de la Disposición Vial AM-01-2009.*

**OBSERVACIÓN N° 2: EXISTE UN RIESGO POTENCIAL DE INCUMPLIR LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DENTRO DEL RANGO DE CONTENIDO DE ASFALTO, QUE NO SE ADVIERTE EN NINGUNO DE LOS DOCUMENTOS DE DISEÑO DE MEZCLA (CONVENCIONAL - MODIFICADO) EMITIDOS POR EL CONTRATISTA**

La metodología de diseño Marshall tiene como finalidad fundamental encontrar la combinación adecuada de agregados minerales y cemento asfáltico, que permita brindarle a la mezcla asfáltica resultante una serie de características físicas y de resistencia que se establecen tanto en los requisitos contractuales de calidad, como en el diseño de la mezcla asfáltica.

La Disposición Vial AM-01-2009, en la sección 401.06 define los requisitos que cuantifican la calidad de la mezcla asfáltica a través de la definición de valores límites de algunos parámetros específicos para la mezcla asfáltica, tanto de la metodología Marshall y de características volumétricas, a saber: contenido de vacíos de la mezcla, estabilidad, flujo, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA), correspondientes de la metodología Marshall y el parámetro volumétrico de la relación polvo/asfalto. En la Tabla 10 se detallan los valores establecidos en las especificaciones contractuales para cada uno de los parámetros señalados.

**Tabla 10.** Valores definidos para los parámetros de calidad en la Disposición Vial AM-01-2009.

Parámetro		Especificaciones
Estabilidad		Mínimo 800 kg
Flujo		20 a 35 <sup>1</sup> / <sub>100</sub> cm
Vacíos en la mezcla		3% a 5%
Relación polvo/asfalto		0,6 a 1,3
Vacíos en agregado mineral (VAM)		Mínimo 14%
Vacíos llenos de asfalto (VFA)		
Tráfico en millones de ejes equivalentes	Inferior a 0,3 (liviano)	70% a 80%
	De 0,3 a 3 (medio)	65% a 78%
	Superior o igual a 3 (pesado)	65% a 75%

En el informe LM-AT-41-09 **“Evaluación de los diseños de mezcla asfáltica en caliente utilizados en actividades de conservación vial: cumplimiento de los requisitos técnicos de las especificaciones contractuales y normativa vigente”** emitido en agosto de 2009, se detallan los conceptos fundamentales del diseño de mezcla y la metodología aplicada para el análisis del informe de diseño presentado por el contratista.

De acuerdo con la metodología Marshall los valores establecidos en las especificaciones contractuales para todos los parámetros mostrados en la Tabla 10 deben cumplirse dentro de la totalidad del rango óptimo de contenido de asfalto (óptimo  $\pm$  0,5%) indicado en el documento de diseño de la mezcla asfáltica.

### Análisis del diseño de mezcla asfáltica Informe N° 1070-2012

Al analizar el Informe N° 1070-2012 se tiene que algunos de los parámetros no cumplen con los valores especificados en la totalidad del rango óptimo (5,70% a 6,70%) indicado en el diseño, para un óptimo de contenido de asfalto de 6,2%  $\pm 0,5\%$ .

Por esta razón se analiza el comportamiento individual de cada parámetro indicado en el apartado 401.06.02 de la Disposición Vial AM-01-2009 dentro del rango óptimo de contenido de asfalto (ver detalle del análisis en Anexo A) en donde como resultado se determina que:

- Los parámetros de estabilidad (mayor a 800 kg), flujo (20 a 35  $1/100$  cm), relación polvo/asfalto (0,6 a 1,3) y vacíos en el agregado mineral (VMA con- un valor mínimo de 14%) se cumplen para el rango de óptimo de contenido de asfalto el diseño.
- Para el diseño de mezcla presentado en el informe 1070-2012, el límite inferior del rango de contenido de asfalto debe aumentarse de 5,70% a 5,93% para que los vacíos de la mezcla no sobrepasen el 5%. Igualmente el límite superior del rango de contenido de asfalto debe disminuirse de 6,70% a 6,42% para que los vacíos de la mezcla no sobrepasen el 3%.
- Según lo que se indica el informe de diseño de mezcla asfáltica, el tránsito que se estima para la ruta se clasifica como intermedio (inferior a 3 millones de ejes equivalentes), por lo que el parámetro de VFA debe mantenerse entre 65% y 78% (inciso i. del apartado 401.06.02 de la Disposición Vial AM-01-2009). Sin embargo, cabe señalar que esta planta estaba despachando mezcla asfáltica hacia la ruta nacional 1, en tramos ubicados en Cañas; ruta con un flujo vehicular superior a 3 millones de ejes equivalentes , para lo cual se indica que el rango debe mantenerse entre 65% a 75%. Por lo que para cumplir con la especificación de VFA, el rango de contenido de asfalto debe ser de 5,81% a 6,20%.

En la Tabla 11 se muestra el resumen de los análisis realizados en donde se observan los límites máximos y mínimos del rango de contenido de asfalto requerido para el cumplimiento de cada uno de los parámetros con las especificaciones contractuales, para el informe 1070-2012, en el cual no se cumplen con los valores especificados en la totalidad del rango óptimo indicado en el diseño, como se indicó anteriormente.

En la misma tabla se indica la restricción máxima del rango de contenido de asfalto que garantizaría el cumplimiento de la totalidad de los parámetros establecidos con los valores indicados en las especificaciones contractuales.

Informe final LM-PI-AT-048-13	Fecha de emisión: Noviembre de 2013	Página 29 de 35
----------------------------------	-------------------------------------	-----------------

**Tabla 11.** Análisis del rango efectivo de contenido de asfalto para el informe N°1070-2012.

Parámetro	Límites de especificación		Contenido de asfalto (5,70% a 6,70%)	
			Límites	
			Inferior	Superior
Estabilidad, kg	Mayor a 800		5,70	6,70
Flujo, 1/100 cm	20	35	5,70	6,70
Contenido de vacíos, %	5	3	<b>5,93</b>	<b>6,42</b>
Relación Polvo/asfalto	1,3	0,6	5,70	6,70
VMA	Mayor a 14		5,70	6,70
VFA (superior a 3 millones) **	65	75	<b>5,81</b>	<b>6,20</b>
Rango efectivo de contenido de asfalto (ver Figura 5)			<b>5,93</b>	<b>6,20</b>
Porcentaje de variación del límite de contenido de asfalto			<b>23%</b>	<b>50%</b>

\*\* A pesar que el diseño se indica para tránsito medio, se evalúa la condición de tránsito pesado, ya que se despachaba mezcla para rutas con este tipo de tránsito. Para un contenido de asfalto de 6,30% se obtiene un valor de VFA de 78%.

En la Tabla 11 y en la Figura 5 se observa que para el diseño del informe 1070-2012, el rango de contenido de asfalto en el cual la mezcla cumpliría con los valores establecidos en las especificaciones contractuales para los parámetros de estabilidad, flujo, vacíos en la mezcla, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA) y relación polvo/asfalto, se reduce en un 73% (23% el límite inferior y 50% el límite superior).

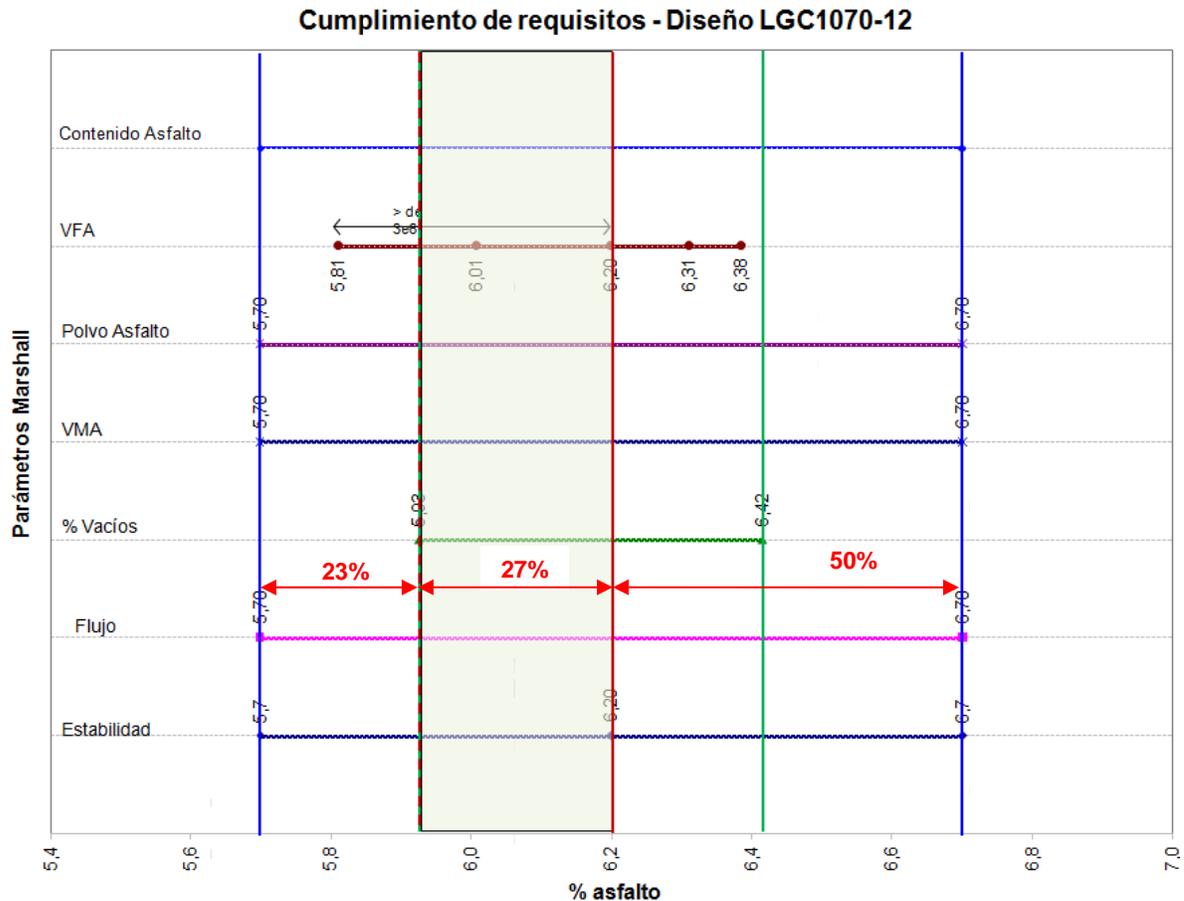
Como resultado de este análisis se puede advertir que al producir mezcla asfáltica con cantidades de asfalto cercanas al contenido óptimo de asfalto, existe un riesgo potencial de incumplir la especificación superior establecida para el parámetro de vacíos llenos de asfalto (VFA). Aunado a la variabilidad propia de un proceso productivo, es posible que se llegue a sobrepasar incluso el rango óptimo de asfalto, y por tanto es esperable que los límites de especificación de algunos parámetros de la metodología de diseño puedan ser excedidos.

El contenido de vacíos se ve afectado por factores tales como angularidad del agregado fino y grueso, proporción de partículas planas o alargadas, relación existente entre la proporción fina y gruesa de la combinación granulométrica, porcentaje de asfalto en la mezcla, entre otros.

El incumplimiento del contenido de vacíos en la mezcla asfáltica podría provocar, entre otros deterioros, deformaciones en la carpeta asfáltica (ahuellamiento) y reducción de la durabilidad por oxidación.

Por otro lado, el incumplimiento del parámetro de vacíos llenos de asfalto (VFA) es producto de varios factores, entre los cuales se encuentran la proporción fina y gruesa de la combinación granulométrica, la porosidad del agregado, la gravedad específica bruta del

agregado fino y grueso, el porcentaje de asfalto en la mezcla y el porcentaje de agregado fino y polvo mineral presente en la mezcla.



**Figura 5.** Análisis gráfico del rango efectivo de contenido de asfalto para el informe N° 1070-2012.

*Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Apartado 401.06 "Requisitos para la mezcla asfáltica" de la Disposición Vial AM-01-2009.*

El exceder los rangos de especificación de dicho parámetros conlleva a deterioros por inestabilidad de la mezcla y exudación de asfalto; además se podrían manifestar problemas de trabajabilidad de la mezcla durante el proceso de colocación, entre otros efectos.

## 6. CONCLUSIONES

A partir de las visitas realizadas en los meses de abril y mayo de 2013 a la planta de asfalto de la Constructora Hernán Solís, ubicada en Abangares, la valoración de la documentación de calibración, control de la calidad y del análisis del diseño de mezcla asfáltica, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

- a. En el momento de la visita, la planta de producción de asfalto reunía los requisitos generales solicitados en la documentación contractual, entre ellos la combinación de agregados se realiza con cuatro tolvas, los componentes de tambor secador y mezclador, quemador, casa de filtros, bomba de asfalto, plataforma de pesaje y cabina de control. Al momento de la gira realizada en abril, se observó un funcionamiento inadecuado del colector de polvos, sin embargo, dicha situación estaba solventada al día siguiente cuando se volvió a visitar la planta.
- b. Durante las visitas realizadas y con base en la documentación relacionada con el control metrológico, se determina evidencia que permite afirmar que algunos de los componentes de medición e indicadores de temperatura con que cuenta la planta de producción de mezcla asfáltica no se mantienen bajo actividades de calibración o comprobación vigentes.
- c. El control de los cuatro apilamientos agregados gruesos, intermedios y polvo de piedra se realiza de acuerdo con lo solicitado en la documentación contractual en cuanto a control granulométrico, determinación de humedades y protección de acopios.
- d. Durante la producción y despacho de la mezcla asfáltica producida en planta, el inspector de planta del Conavi, supervisa las actividades realizadas anotando en las guías de entrega y despacho de mezcla. Asimismo, se utiliza el sistema de control de marchamos para el transporte de la mezcla a sitio de trabajo.
- e. Se observa que 2 de los 6 resultados del parámetro de contenido de asfalto reportados en el informe de ensayos de las muestras tomadas, se encuentran fuera de la tolerancia establecida en la Disposición Vial AM-01-2009 (óptimo de asfalto  $\pm 0,5\%$ ).
- f. Los resultados de granulometría realizados por el LanammeUCR cumplen satisfactoriamente los requisitos establecidos, sin embargo se observa que las curvas granulométricas para los agregados finos (malla N°8 a N°200) se encuentran cercanas al límite superior especificado en la normativa vigente.
- g. Se determina que las 7 muestras evaluadas presentan incumplimientos en el parámetro de vacíos llenos de asfalto (VFA), así como en algunos de los resultados para los parámetros de contenido de vacíos, vacíos en el agregado mineral (VMA) y

Informe final LM-PI-AT-048-13	Fecha de emisión: Noviembre de 2013	Página 32 de 35
----------------------------------	-------------------------------------	-----------------

en la relación polvo/asfalto en varias de las muestras analizadas, según lo requiere la Disposición Vial AM-2001 para los parámetros del método Marshall.

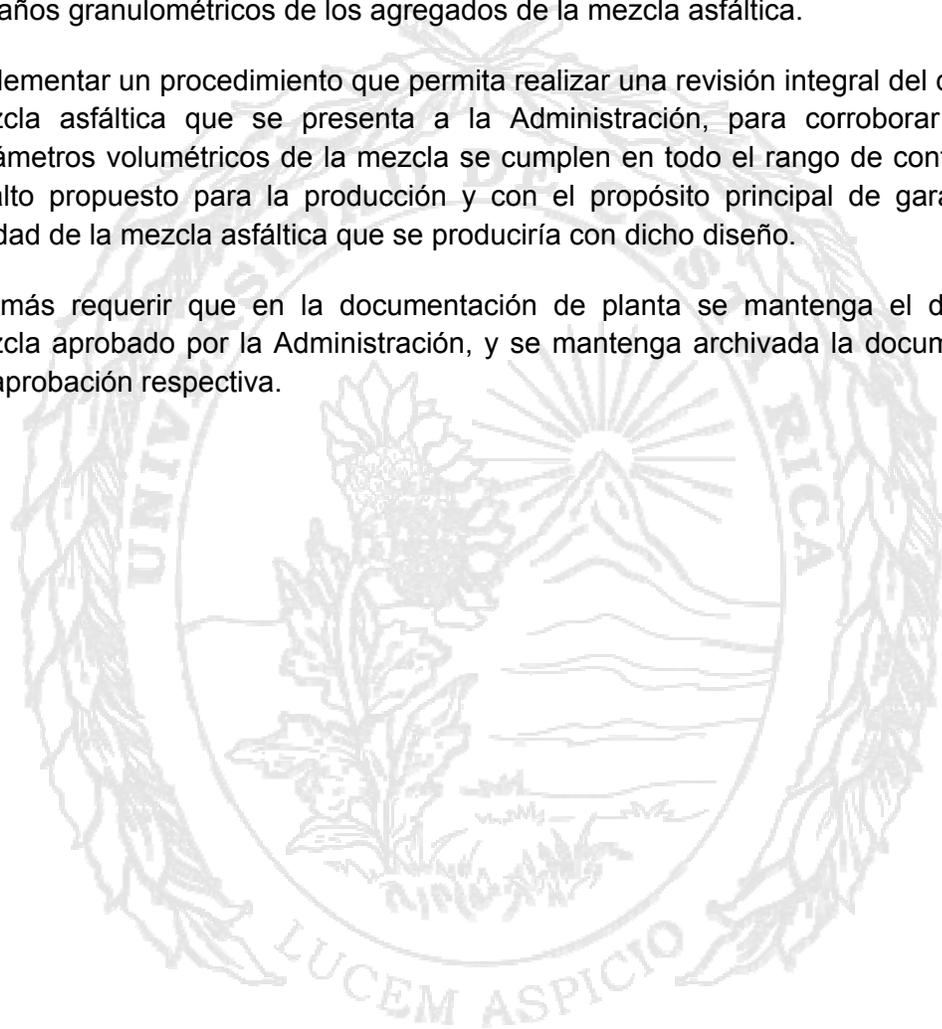
- h. Del análisis realizado al diseño de mezcla se tiene que la tolerancia permitida para la granulometría propuesta se restringe para lograr cumplir con los límites de especificación para las mallas 1/2", N° 4 y N° 30.
- i. Asimismo, el analizar el diseño de mezcla determinó que los parámetros volumétricos de porcentaje de vacíos en la mezcla y vacíos llenos de asfalto (VFA) muestran un riesgo potencial de incumplimiento en un 73% del rango de contenido óptimo de asfalto establecido en el diseño de mezcla (Informe 1070-2012). El exceder los valores establecidos en los términos contractuales, en dichos parámetros pueden causar deterioros por inestabilidad de la mezcla o por exudación de asfalto.



## 7. RECOMENDACIONES

A continuación se listan algunas recomendaciones para que sean consideradas por la Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, con el propósito de que se definan e implementen soluciones integrales a éste y futuros proyectos.

- a. Incluir dentro de las labores de supervisión el monitoreo y control de la variabilidad inherente del proceso productivo para reducir el riesgo de incumplimientos de las especificaciones contractuales en lo que se refiere a los parámetros de vacíos, VFA y tamaños granulométricos de los agregados de la mezcla asfáltica.
- b. Implementar un procedimiento que permita realizar una revisión integral del diseño de mezcla asfáltica que se presenta a la Administración, para corroborar que los parámetros volumétricos de la mezcla se cumplen en todo el rango de contenido de asfalto propuesto para la producción y con el propósito principal de garantizar la calidad de la mezcla asfáltica que se produciría con dicho diseño.
- c. Además requerir que en la documentación de planta se mantenga el diseño de mezcla aprobado por la Administración, y se mantenga archivada la documentación de aprobación respectiva.



### Equipo Auditor



**Ing. Víctor Cervantes Calvo.**  
Auditor Técnico, LanammeUCR



**Ing. Francisco Fonseca Chaves.**  
Auditor Técnico, LanammeUCR

Aprobado por:



**Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.**  
Coordinadora Auditoría Técnica, LanammeUCR

Aprobado por:



**Ing. Luis Guillermo Loria Salazar, PhD.**  
Coordinador General Programa de Infraestructura de  
Transporte, LanammeUCR

Visto bueno de legalidad



**Lic. Miguel Chacón Alvarado.**  
Asesor Legal LanammeUCR