



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



PROGRAMA DE  
INFRAESTRUCTURA DEL  
TRANSPORTE

P I T R A

# Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-084-13

## **EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA Y DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA DE LA CONSTRUCTORA HERNÁN SOLÍS EN RÍO CLARO, PUNTARENAS.**

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

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

***Línea 7, Zona 4-3 y Línea 8 Zona 4-2: Región Brunca***

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

DICIEMBRE, 2013

Información técnica del documento

<p><b>1. Informe Final</b> Informe Final LM-PI-AT-084-13.</p>	<p><b>2. Copia No.</b> 13</p>	
<p><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 RÍO CLARO, PUNTARENAS. Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV. Línea 7 Zona 4-3 y Línea 8 Zona 4-2: Región Brunca.</p>	<p><b>4. Fecha del Informe</b> Diciembre, 2013</p>	
<p><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</p>		
<p><b>8. Notas complementarias</b> ---*---*---</p>		
<p><b>9. Resumen</b> <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 control de granulometrías de los acopios y de la combinación de las fracciones en las tolvas. <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 20% del rango de contenido óptimo de asfalto establecido en el diseño de mezcla. <b>Sobre la mezcla asfáltica producida:</b> Las muestras analizadas por el LanammeUCR cumplen satisfactoriamente con las especificaciones granulométricas y cuatro de las muestras incumplen con el contenido de asfalto establecido en el diseño de mezcla. Además las muestras ensayadas incumplen con los parámetros volumétricos Marshall para aceptación de la mezcla asfáltica: vacíos en el agregado mineral (VMA) y en la relación polvo/asfalto.</p>		
<p><b>10. Palabras clave</b> Planta asfáltica, Mezcla asfáltica, Diseño de mezcla, Control y Verificación de Calidad, Pesaje</p>	<p><b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno</p>	<p><b>12. Núm. de páginas</b> 23</p>

**INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA**  
**EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA Y LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA DE LA**  
**CONSTRUCTORA HERNÁN SOLÍS EN RÍO CLARO, PUNTARENAS. Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV. Línea**  
**7 Zona 4-3 y Línea 8, Zona 4-2: Región Brunca**

**Departamento encargado del proyecto:** Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, CONAVI  
**Ingeniero de Conavi Zona 4-2 y 4-3:** Ronny Coto (Ingeniero de CONAVI)  
**Laboratorio de verificación de calidad:** No asignado, durante la ejecución del informe

**Empresa contratista:** Constructora Hernán Solís  
**Laboratorio de control de calidad:** OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A

**Monto original del contrato:**  $\phi$ 5.982.104.437,00 (colones)  
**Plazo original de ejecución:** 1095 días naturales

**Coordinador de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA y Coordinador a.i. de Auditoría Técnica:**  
 Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD

**Audidores:**  
 Ing. Víctor Cervantes Calvo  
 Ing. Francisco Fonseca Chaves

**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.

**Ubicación de la planta auditada:**



**Figura 1.** Ubicación de Planta Hernán Solís, en Río Claro, Puntarenas.

**TABLA DE CONTENIDO**

Informe Final LM-PI-AT-84-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 3 de 23
---------------------------------	-------------------------------------	----------------

<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....</b>	<b>5</b>
<b>1. FUNDAMENTACIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS.....</b>	<b>6</b>
2.1.    Objetivo del informe.....	7
2.2.    Alcance del informe .....	7
<b>3. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR .....</b>	<b>7</b>
<b>3. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR .....</b>	<b>7</b>
<b>4. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....</b>	<b>8</b>
4.1.    Información general de la planta.....	10
<b>5. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....</b>	<b>10</b>
5.1.    Hallazgos Y Observaciones de la Auditoría.....	10
5.1.1.    Sobre el control de agregados.....	11
5.1.2.    Sobre la mezcla asfáltica producida .....	12
5.1.3.    Sobre la consistencia del diseño de mezcla vigente durante el periodo de estudio.....	17
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>21</b>
<b>7. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>22</b>

## 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 INFORMES Nº 040-2013 EMITIDO POR OJM CONSULTORES DE CALIDAD Y LABORATORIOS S.A.....	9
<b>TABLA 3.</b> RESULTADOS REPORTADOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DEL LANAMMEUCR..	13
<b>TABLA 4.</b> RESULTADOS DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA REPORTADOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DEL LANAMMEUCR. ....	14
<b>TABLA 5.</b> ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.....	16
<b>TABLA 6.</b> ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.....	16
<b>TABLA 7.</b> VALORES DEFINIDOS PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD EN LA DISPOSICIÓN VIAL AM-01-2009.....	17
<b>TABLA 8.</b> ANÁLISIS DEL RANGO EFECTIVO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA EL INFORME Nº 040-2013.....	19

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> UBICACIÓN DE PLANTA HERNÁN SOLÍS, EN RÍO CLARO, PUNTARENAS.....	3
<b>FIGURA 2.</b> GRÁFICO DE LOS RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO EN LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR. ....	13
<b>FIGURA 3.</b> RESULTADOS DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA REPORTADOS POR EL LABORATORIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DEL LANAMMEUCR MEDIANTE EL INFORME I-0581-12.....	15
<b>FIGURA 4.</b> ANÁLISIS GRÁFICO DEL RANGO EFECTIVO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA EL INFORME Nº 040- 2013.....	19

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

<b>FOTOGRAFÍA 1</b> PATIO DE APILAMIENTOS, 4 TIPOS DE AGREGADOS.....	11
--	----

## INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.

### EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA Y PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA CONSTRUCTORA HERNÁN SOLÍS EN RÍO CLARO, PUNTARENAS. LICITACIÓN PÚBLICA NO. 2009LN-000003-CV. LÍNEA 7 ZONA 4-3 Y LÍNEA 8 ZONA 4-2: REGIÓN BRUNCA

#### 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, de 4 de abril del 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

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

#### 2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

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

Informe Final LM-PI-AT-84-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 6 de 23
---------------------------------	-------------------------------------	----------------

## 2.1. OBJETIVO DEL INFORME

El objetivo de este informe es 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. Asimismo, se pretende valorar el diseño de mezcla utilizado por la planta para la producción de mezcla asfáltica.

## 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. Además, se determina la utilización de controles establecidos por la Administración para el despacho de mezcla asfáltica. La evaluación se realiza durante el mes de mayo del presente año.

## 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. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA EL ANALISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-084B-13

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-098-13 del 27 de noviembre del 2013 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-090B-13 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 10 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe para el envío de comentarios al informe preliminar.

El 17 de diciembre del 2013 se recibe el oficio GCSV-01-2013-6292 emitido por el Ing. Edgar May Cantillano, Gerente a.i. de Conservación de vías y puentes en el cual se describen comentarios sobre el informe LM-PI-AT-090B-13. Por lo tanto, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica y una vez analizado el documento en mención, y teniendo en cuenta lo pertinente, se procede a emitir el presente informe LM-PI-AT-090-13 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley. La emisión del informe final se realiza en Diciembre del 2013.

Informe Final LM-PI-AT-84-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 7 de 23
---------------------------------	-------------------------------------	----------------

## 5. 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.

Durante el proceso de auditoría realizado por la Auditoría Técnica del LanammeUCR se visitaron las instalaciones de la planta asfáltica y se tomaron muestras de la mezcla asfáltica por un periodo definido<sup>1</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 realizar los ensayos Marshall de la mezcla asfáltica producida, así como determinar el valor del contenido de asfalto (ASTM D-6307 /ASTM-D-95), la composición granulométrica (ASTM D 5444) de cada una de las muestras.

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.

Muestra	Fecha	Sitio	
1	1024-13	07/05/2013	Planta
2	1031-13	08/05/2013	Planta
3	1032-13	09/05/2013	Planta
4	1033-13	10/05/2013	Planta
5	1185-13	21/05/2013	Planta
6	1186-13	22/05/2013	Planta
7	1648-13	23/05/2013	Planta

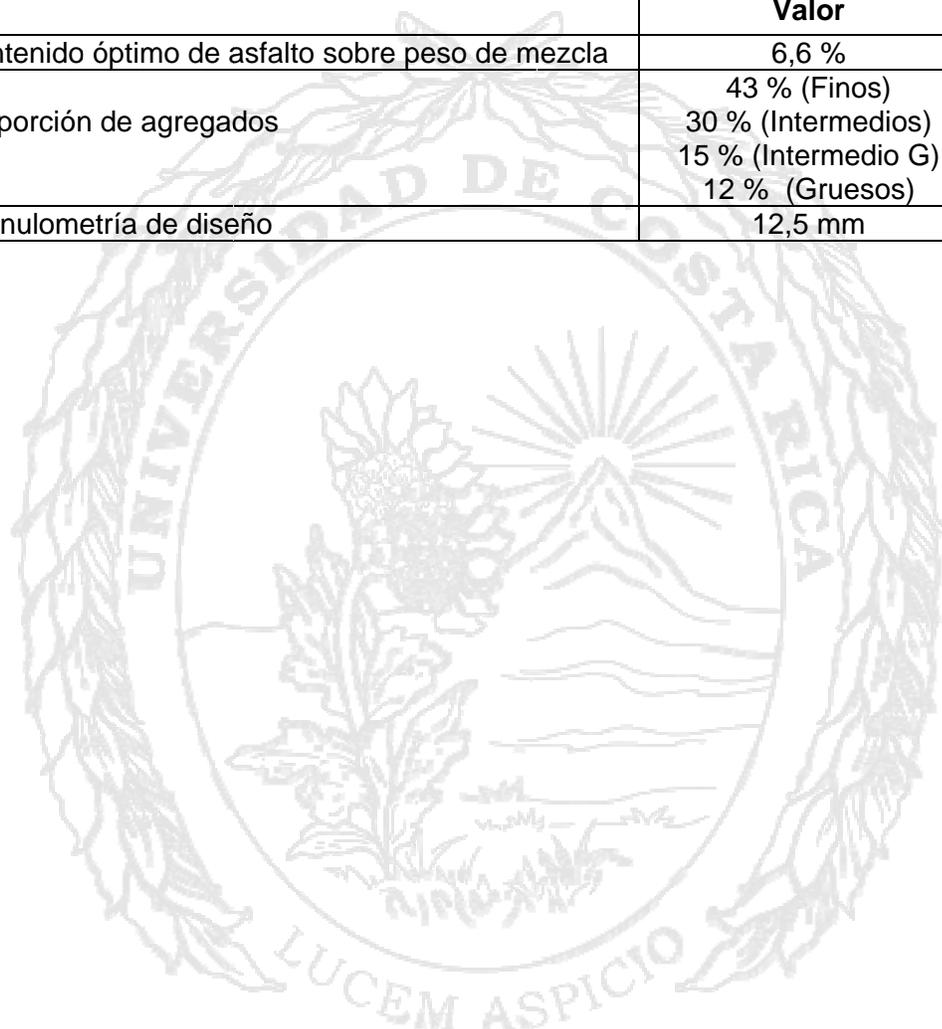
El diseño de mezcla para ser producido en planta es el formulado por el laboratorio OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A identificado como el informe N° 040-2013 "Diseño

<sup>1</sup> Los días 05, 07, 08, 09, 10, 21 y 23 de mayo de 2013.

de Mezcla". En la Tabla 2 se resumen los parámetros generales definidos en el documento mencionado.

**Tabla 2.** Parámetros generales del diseño de mezcla asfáltica según informes N° 040-2013 emitido por OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A

Parámetro	Inf. N° 040-2013
	Valor
Contenido óptimo de asfalto sobre peso de mezcla	6,6 %
Proporción de agregados	43 % (Finos) 30 % (Intermedios) 15 % (Intermedio G) 12 % (Gruesos)
Granulometría de diseño	12,5 mm



## 5.1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA

La planta de producción de mezcla asfáltica ubicada en Río Claro, Puntarenas, 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 7, Zona 4-3 y Línea 8, Zona 4-2, Región Brunca.

Se realiza la visita a la planta el 22 de mayo de 2013. En esta visita se informa que se está suministrando mezcla asfáltica a la Constructora Hernán Solís para realizar bacheo y carpetas en los siguientes lugares: Ciudad Neilly, Palmar Paso Real, Palmar Dominical, y Palmar Norte.

El laboratorio empleado 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 la planta de producción, para realizar los ensayos Marshall a la mezcla asfáltica y contenido de asfalto. Al momento de esta visita no se encuentra contratado algún organismo encargado de la Verificación de Calidad por parte de la Administración.

## 6. 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.

### 6.1. 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

Informe Final LM-PI-AT-84-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 10 de 23
---------------------------------	-------------------------------------	-----------------

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.

### 6.1.1. Sobre el control de agregados

#### **HALLAZGO N° 1: 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°040-2013 emitido por OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A, indica que se están utilizando agregados del Quebrador Wiwi (Río Térraba), constituidos en cuatro apilamientos a saber: agregado grueso cuartilla (pasando 19,0 mm), agregado quinta gruesa (pasando 12,5 mm, agregado quinta fina (pasando 9,5 mm) y agregados finos (pasando 9,5 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 1.



**Fotografía 1** Patio de apilamientos, 4 tipos de agregados.

En general, la zona de apilamiento de los agregados es un área amplia para mantener las cuatro fracciones que se solicitan contractualmente.

#### 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. Adicionalmente, se realizan controles de la granulometría de cada uno de los apilamientos de forma constante.

Informe Final LM-PI-AT-84-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 11 de 23
---------------------------------	-------------------------------------	-----------------

### 6.1.2. Sobre la mezcla asfáltica producida

**HALLAZGO N° 2: SE OBSERVA QUE 4 DE LAS 7 MUESTRAS ANALIZADAS PRESENTAN EL VALOR DE CONTENIDO DE ASFALTO FUERA DEL RANGO ÓPTIMO  $6,6 \pm 0,5\%$  (6,1 %- 7,1 %) ESTABLECIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLA VIGENTE.**

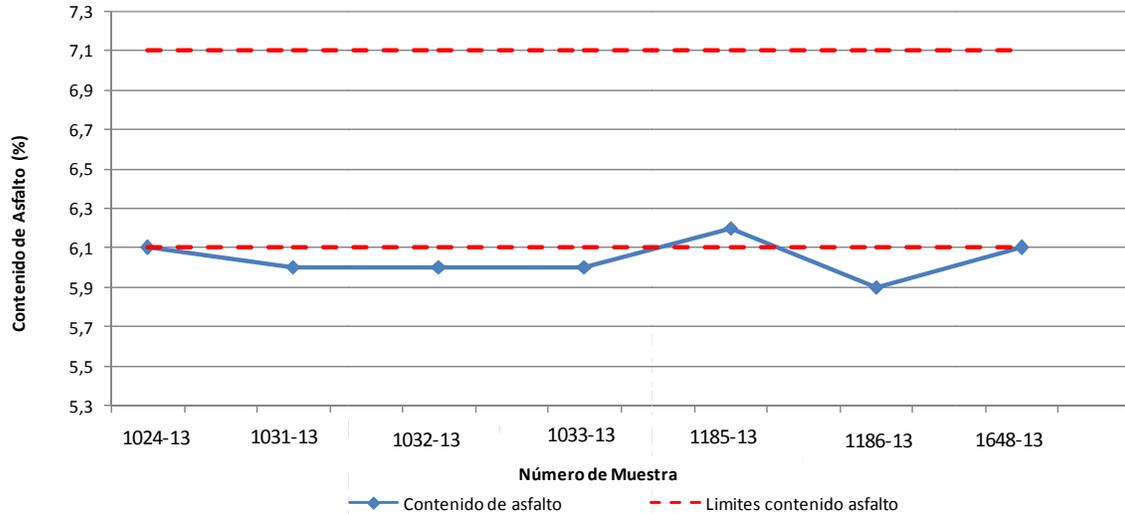
Los requisitos para la mezcla asfáltica señalados en las especificaciones nacionales, apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2009, establecen que la variabilidad permitida para el parámetro de contenido de asfalto debe mantenerse dentro del margen de  $\pm 0,5\%$  con respecto al valor óptimo de asfalto determinado en el diseño de mezcla.

De acuerdo con el diseño de mezcla vigente para la producción de la mezcla asfáltica en caliente, identificado como informe N° 040-2013 emitido por OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A, el valor óptimo de asfalto está definido como  $6,6 \pm 0,5\%$  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 6,1% y 7,1%.

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en los Informes de Ensayo I-724-13, I-728-13, I-743-13, I-769-13, I-786-13 y I-807-13, se evidencia que cuatro de los resultados de contenido de asfalto son menores al límite inferior permisible, correspondiente a las muestras 1031-13, 1332-13, 1033-13 y 1186-13..

En la Figura 2 se presentan gráficamente los resultados de los ensayos de las muestras analizadas. Se indica el valor meta que corresponde al contenido óptimo de asfalto, así como los límites del rango óptimo (superior e inferior), de acuerdo con los datos del informe de diseño de mezcla vigente.

Se evidencia que 3 de los demás resultados de contenido de asfalto se encuentran sobre el límite inferior del contenido óptimo de asfalto, 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.



**Figura 2.** Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica ensayadas por el LanammeUCR.

En la Tabla 3 se resumen los resultados obtenidos para cada una de las muestras analizadas y se resaltan los resultados que se encuentra fuera del rango óptimo de contenido de asfalto establecido en el diseño de mezcla.

**Tabla 3.** Resultados reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR.

Muestra	Fecha	Punto de muestreo	Contenido (%)		
			Asfalto	Incertidumbre	
Límite inferior			6,1		
Límite superior			7,1		
1	1024	07/05/2013	Planta	6,1	±0,3
2	1031	08/05/2013	Planta	6,0	±0,3
3	1032	09/05/2013	Planta	6,0	±0,3
4	1033	10/05/2013	Planta	6,0	±0,3
5	1185	21/05/2013	Planta	6,2	±0,3
6	1186	22/05/2013	Planta	5,9	±0,3
7	1648	23/05/2013	Planta	6,1	±0,3
Promedio			6,0		±0,3
Desv. Estándar			0,09		±0,01

**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 menor al requerido en el diseño de mezcla, es posible que no se logre cubrir todo el agregado mineral que conforma la mezcla asfáltica provocando desnudamiento.

**HALLAZGO Nº 3: LOS RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS REPORTADOS PARA LA COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA 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 se detallan en la Tabla 4. 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 Ensayo I-724-13, I-728-13, I-743-13, I-769-13, I-786-13 y I-807-13 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial..

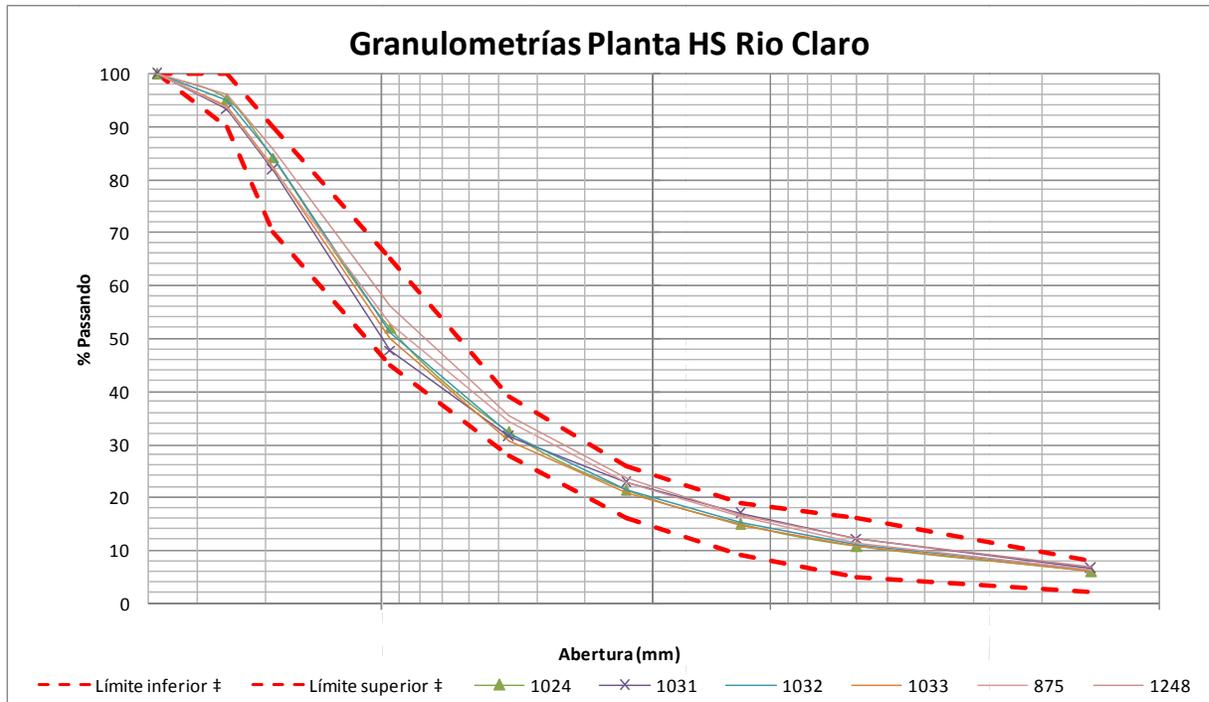
**Tabla 4.** Resultados de composición granulométrica reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR.

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>			<b>100</b>	<b>90</b>	<b>70</b>	<b>45</b>	<b>28</b>	<b>16</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	
<b>Límite superior ‡</b>			<b>100</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>65</b>	<b>39</b>	<b>26</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	
1	1024-13	07/05/2013	Planta	100	95,3	84,2	52,0	32,3	21,3	15,0	10,7	6,0
2	1031-13	08/05/2013	Planta	100	93,5	81,8	47,8	31,5	22,7	16,9	12,3	6,5
3	1032-13	09/05/2013	Planta	100	95,0	84,4	51,0	32,2	21,3	15,4	11,1	6,2
4	1033-13	10/05/2013	Planta	100	93,8	82,5	49,9	30,8	20,8	14,8	10,7	6,0
5	1185-13	21/05/2013	Planta	100	93,6	82,3	52,7	34,2	22,7	16,3	11,4	6,4
6	1186-13	22/05/2013	Planta	100	95,9	86,1	57,5	34,3	22,6	16,3	11,6	6,6
7	1648-13	23/05/2013	Planta	100	96,3	85,8	56,0	35,5	23,6	16,8	12,2	6,8
<b>Promedio</b>				<b>100</b>	<b>94,8</b>	<b>83,9</b>	<b>52,4</b>	<b>33,0</b>	<b>22,1</b>	<b>15,9</b>	<b>11,4</b>	<b>6,4</b>
<b>Desv. Estándar</b>				<b>0,00</b>	<b>1,15</b>	<b>1,72</b>	<b>3,38</b>	<b>1,71</b>	<b>1,01</b>	<b>0,86</b>	<b>0,66</b>	<b>0,30</b>

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

De los resultados presentados en la Tabla 4 se determina que todos los valores cumplen con 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..

La representación gráfica mostrada en la Figura 3 presenta las curvas granulométricas para las muestras ensayadas por el LanammeUCR. Se puede observar que en general, todas las curvas se encuentran centradas entre los rangos de la especificación, lo cual influye positivamente en la producción de la mezcla asfáltica.



**Figura 3.** Resultados de composición granulométrica reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR mediante el informe I-0581-12.

**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 4: 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 5.** 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 Río Claro. En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 6.** Especificación de parámetros según el método Marshall

Muestra	Fecha	Punto de muestreo	Informe Lanamme	Gravedad Específica Agregado	Gravedad Específica Bruta	Gravedad Máxima Teórica	Vacíos (%)	Estabilidad (kgf)	Flujo (1/100cm)	VMA (%)	VFA (%)	Relación polvo / asf	
Límite inferior				-	-	-	3	800	20	14	65	0,6	
Límite superior				-	-	-	5	-	35	-	75	1,3	
1	1024 -13	07/05/2013	Planta	I-0703-13	2,548	2,337	2,446	4,5	1736	28,4	13,9	67,8	1,45
2	1031 -13	08/05/2013	Planta	I-0703-13	2,548	2,336	2,453	4,8	1863	28,7	13,8	65,4	1,64
3	1032 -13	09/05/2013	Planta	I-0703-13	2,548	2,351	2,445	3,9	1733	29,3	13,3	71,0	1,51
4	1033 -13	10/05/2013	Planta	I-0703-13	2,548	2,347	2,456	4,4	2016	29,1	13,4	66,9	1,53
5	1185 -13	21/05/2013	Planta	I-0800-13	2,548	2,354	2,432	3,2	2002	32,0	13,3	76,0	1,45
6	1186 -13	22/05/2013	Planta	I-0800-13	2,548	2,338	2,450	4,6	1839	32,7	13,6	66,5	1,66
7	1648 -13	23/05/2013	Planta	I-0800-13	2,548	2,361	2,441	3,3	1959	32,5	13,0	74,8	1,61
Promedio				2,548	2,346	2,446	4,1	1878	30,4	13,5	69,8	1,55	
Desviación Estándar				0,000	0,010	0,008	0,6	118	1,9	0,3	4,2	0,09	

Se puede observar que las 7 muestras ensayadas presenta incumplimientos en los parámetros volumétricos Marshall para aceptación de la mezcla asfáltica, vacíos en el agregado mineral (VMA) y en la relación polvo/asfalto. En cuanto a los vacíos en el agregado mineral (VMA) se denota que los valores están por debajo al límite por lo que no cumplen el valor mínimo, lo que podría producir problemas de durabilidad de la mezcla producida.

En cuanto al parámetro relación polvo/asfalto se establece que muestra una tendencia a superar el límite superior de la especificación, siendo una mezcla asfáltica con una alta susceptibilidad a generar deterioros tales como exudación, desplazamiento y ahuellamiento.

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

**OBSERVACIÓN N° 1: EL DISEÑO DE MEZCLA NO CUMPLE TODOS LOS PARÁMETROS DE DISEÑO MARSHALL DENTRO DEL RANGO DE CONTENIDO DE ASFALTO, DICHA RESTRICCIÓN NO SE ADVIERTE EN EL DOCUMENTO DE DISEÑO DE MEZCLA EMITIDO POR EL CONTRATISTA.**

La metodología de diseño de mezcla asfáltica 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 en los requisitos contractuales de calidad de la mezcla asfáltica.

La Disposición Vial AM-01-2009 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 7 se detallan los valores establecidos en las especificaciones contractuales para cada uno de los parámetros señalados.

**Tabla 7.** 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 presentado por el contratista.

A pesar de que la Disposición Vial AM-01-2009 no establece explícitamente si cada uno de los parámetros indicados en la disposición deben evaluarse en el valor óptimo de porcentaje de asfalto o en el rango de tolerancia admitido para el parámetro de porcentaje de contenido de asfalto, de acuerdo con la metodología Marshall, los valores establecidos en las especificaciones contractuales para todos los parámetros mostrados en la Tabla 9 deben cumplirse dentro de la totalidad del rango óptimo de contenido de asfalto (óptimo  $\pm 0,5\%$ ) indicado en el diseño de mezcla, que en el caso de estudio corresponde a  $6,6\% \pm 0,5\%$  (6,10% a 7,10%). Sin embargo, al analizar el comportamiento de cada uno de los parámetros se observa que algunos no cumplen con los valores especificados en la totalidad del rango óptimo indicado en el diseño.

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), vacíos de la mezcla (3% a 5%) y vacíos en el agregado mineral (VMA con un valor mínimo de 14%) se cumplen para el rango de óptimo de contenido de asfalto para ambos diseños.
- El límite superior del rango de contenido de asfalto debe reducirse de 7,10% a 6,89% para que el valor de vacíos llenos de asfalto (VFA) no exceda 75%.

Para el diseño de mezcla presentado en el informe 040-2013, no se puede determinar el cumplimiento de la relación polvo/asfalto (0,6 a 1,3), ya que no se incluye la información correspondiente a la memoria de cálculo de los parámetros Marshall.

En la Tabla 8 se muestra el resumen de los análisis realizados en donde se observa los límites máximos y mínimos del rango contenido de asfalto requeridos para el cumplimiento de cada uno de los parámetros con las especificaciones contractuales.

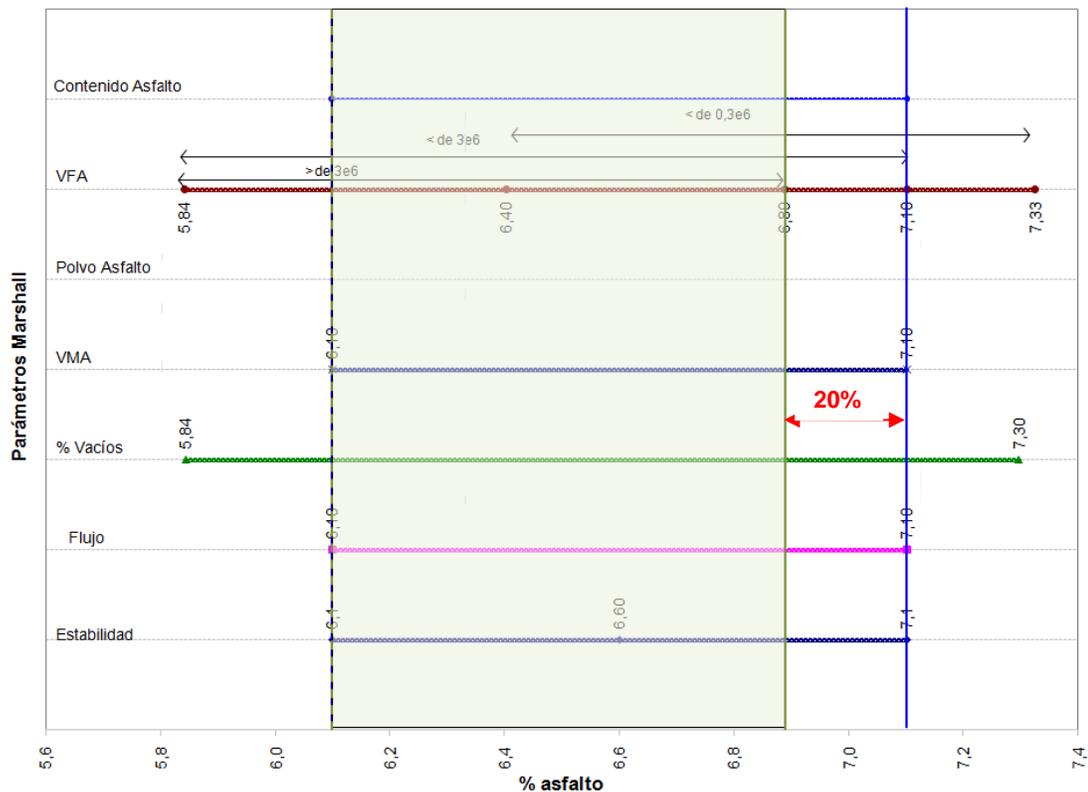
En la misma tabla se indica la restricción máxima del rango de contenido de asfalto que garantizaría el cumplimiento de la totalidad de los parámetros establecidos con los valores indicados en las especificaciones contractuales.

En la Tabla 8 y en la Figura 4 se observa que 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, VMA, VFA y relación polvo/asfalto, se reduce en un 20%.

**Tabla 8.** Análisis del rango efectivo de contenido de asfalto para el informe N° 040-2013.

Parámetro	Límites de especificación		Contenido de asfalto (5,70% a 6,70%)	
			Límites	
			Inferior	Superior
Estabilidad, kg	Mayor a 800		6,10	7,10
Flujo, 1/100 cm	20	35	6,10	7,10
Contenido de vacíos, %	5	3	6,10	7,10
Relación Polvo/asfalto	1,3	0,6	*	*
VMA	Mayor a 14		6,10	7,10
VFA (superior a 3 millones) **	65	75	6,10	<b>6,89</b>
Rango efectivo de contenido de asfalto (ver Figura 5)			<b>6,10</b>	<b>6,89</b>
Porcentaje de variación del límite de contenido de asfalto			<b>0%</b>	<b>20%</b>

**Cumplimiento de requisitos - Diseño OJM Inf0.40-2013**



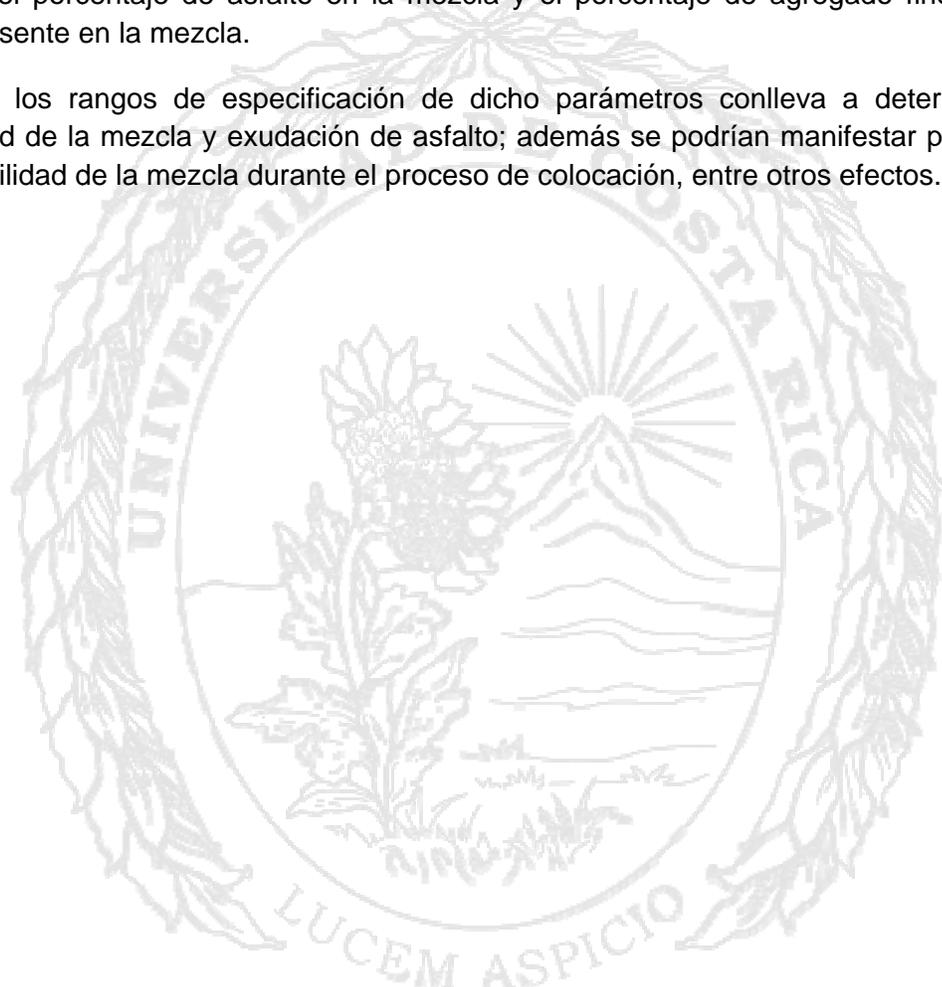
**Figura 4.** Análisis gráfico del rango efectivo de contenido de asfalto para el informe N° 040-2013.

*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.*

Como resultado de este análisis se puede afirmar y advertir que el producir mezcla asfáltica en la totalidad del rango óptimo de contenido de asfalto implica un riesgo potencial de incumplimiento, debido a que en los extremos del rango existe una alta posibilidad de sobrepasar el valor de los requisitos establecidos en las especificaciones contractuales para los parámetros de contenido de vacíos de la mezcla y vacíos llenos de asfalto (VFA), lo cual no asegura la calidad de la mezcla asfáltica producida.

El incumplimiento de los parámetros VFA es producto de varios factores, entre los cuales se encuentran la proporción fina y gruesa de la combinación granulométrica, la porosidad del agregado, el porcentaje de asfalto en la mezcla y el porcentaje de agregado fino y polvo mineral presente en la mezcla.

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.



## 7. CONCLUSIONES

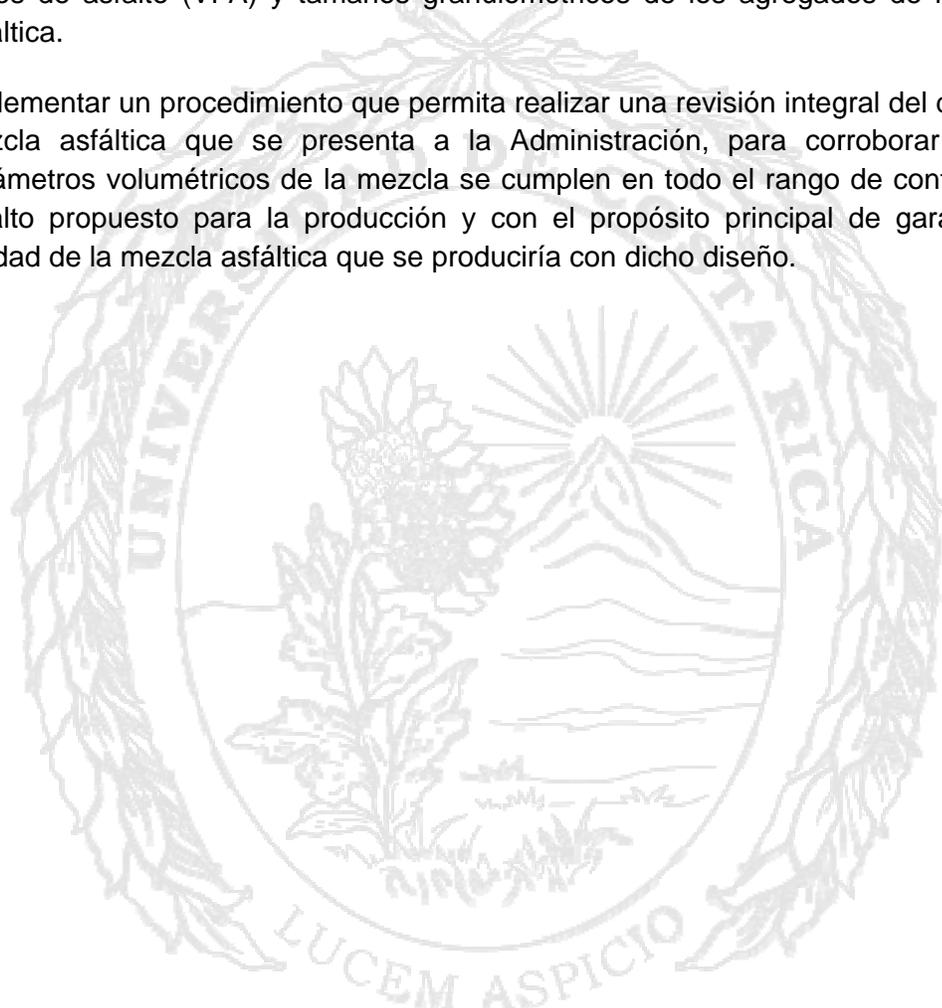
A partir de las visitas a la planta de asfalto de la Constructora Hernán Solís, ubicada en Río Claro de Puntarenas, la valoración de la documentación de calibración y del análisis del diseño de mezcla asfáltica, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

- a. 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 y protección de acopios.
- b. Se observa que 4 de los 7 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  $\pm 0,5\%$ ). Asimismo 3 resultados de las restantes muestras, se mantienen en el valor del límite inferior.
- c. Todos los resultados de granulometría realizados por el LanammeUCR cumplen satisfactoriamente los requisitos establecidos en la Disposición Vial AM-01-2009 para un tamaño máximo nominal de 12,5 mm.
- d. Las 7 muestras ensayadas presentan incumplimientos en los parámetros volumétricos Marshall para aceptación de la mezcla asfáltica, vacíos en el agregado mineral (VMA) y en la relación polvo/asfalto.
- e. El análisis del diseño de mezcla determinó que el parámetro volumétrico de vacíos llenos de asfalto (VFA) muestran un incumplimiento en un 20% del rango de contenido óptimo de asfalto establecido en el diseño de mezcla (Informe 040-2013) descatando lo establecido en la disposición vial AM-01-2009.
- f. La evidencia documental permite afirmar que el documento de diseño de mezcla emitido por el contratista no advierte alguna restricción relacionada con el rango de contenido de asfalto, que minimice el riesgo de incumplir los parámetros de diseño definidos en la disposición vial AM-01-2009 para la metodología Marshall y requisitos de la mezcla asfáltica.

## 8. 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, vacíos llenos de asfalto (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.



### Equipo Auditor

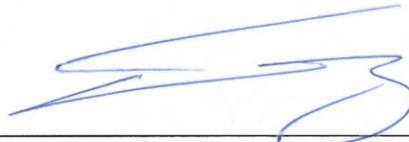


**Ing. Víctor Cervantes Calvo.**  
Auditor Técnico, LanammeUCR



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

### Aprobado por:



**Ing. Luis Guillermo Loria Salazar, PhD.**  
Coordinador General Programa de Infraestructura de  
Transporte, LanammeUCR y Coordinador a.i. de  
Auditoría Técnica

### Visto bueno de legalidad



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