



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-090-13

EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFALTICA DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DEL GRUPO OROSÍ.

PROYECTO: Conservación de la Red Nacional Pavimentada.

Contratación Directa No. 2009LN-000003-CV.

Línea 16 Zona 1-7: Cartago, Consorcio Grupo Orosí.

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

1. Informe Final Informe Final LM-AT-090-13.		2. Copia No. 12
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFALTICA DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DEL GRUPO OROSÍ. Contratación Directa No. 2009LN-000003-CV. Línea 16 Zona 1-7: Cartago, Consorcio Grupo Orosí		4. Fecha del Informe Diciembre, 2013
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias -----*-----		
9. Resumen Sobre el control de agregados: 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. Sobre el diseño de la mezcla asfáltica: Los parámetros volumétricos de porcentaje de vacíos en la mezcla y vacíos llenos de asfalto (VFA) muestran un riesgo potencial de incumplimiento en un 71% del rango de contenido óptimo de asfalto establecido en el diseño de mezcla. Sobre la mezcla asfáltica producida: 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 algunas de las muestras ensayadas incumplen con los parámetros volumétricos Marshall para aceptación de la mezcla asfáltica: vacíos en la mezcla asfáltica, vacíos llenos con asfalto (VMA) y en la relación polvo/asfalto.		
10. Palabras clave Planta asfáltica, Mezcla asfáltica, Diseño de mezcla	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 24

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA DEL GRUPO OROSÍ. Contratación Directa
No. 2009LN-000003-CV. Línea 16 Zona 1-7: Cartago, Consorcio Grupo Orosí

Departamento encargado del proyecto: Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, CONAVI

Laboratorio de verificación de calidad: No asignado al momento de elaboración del informe

Empresa contratista: Constructora Grupo Orosí

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

Monto original del contrato: ₡6.845.235.305,02 (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 externo:

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 del Grupo Orosí.

Ubicación de la planta auditada:



Figura 1a. Ubicación de Planta Grupo Orosí, Barrio San José de Curridabat.

Figura 1b. Ubicación de Planta Grupo Orosí, La Lima, Cartago.



TABLA DE CONTENIDO

PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE (PITRA)	1
INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA	3
INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.....	5
1. FUNDAMENTACIÓN.....	5
2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	5
3. OBJETIVO DEL INFORME	6
4. ALCANCE DEL INFORME	6
5. INTEGRANTES DE EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR	6
6. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA EL ANALISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-090B-13	6
7. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	7
8. INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA.....	7
9. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	8
10. HALLAZGOS DE LA AUDITORÍA	8
10.1 SOBRE EL CONTROL DE AGREGADOS.....	9
10.2 SOBRE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA.....	10
10.3 SOBRE LA CONSISTENCIA DEL DISEÑO DE MEZCLA VIGENTE DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO	18
11. CONCLUSIONES.....	22

**INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.
EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA
DEL GRUPO OROSÍ. CONTRATACIÓN DIRECTA NO. 2009LN-000003-CV.
LÍNEA 16 ZONA 1-7: CARTAGO, CONSORCIO GRUPO OROSÍ**

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 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la ley 8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

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

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

2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

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

Informe LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 5 de 24
---------------------------	-------------------------------------	----------------

3. 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 los parámetros de calidad de algunas muestras de la mezcla asfáltica producida, de conformidad con lo que se establece en las especificaciones contractuales y las practicas ordinarias para diseño de mezcla.

4. 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 del Grupo Orosí. Además se determinan las propiedades Marshall de la mezcla asfáltica.

5. INTEGRANTES DE EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR

- Ing. Luis Guillermo Loría, PhD. (Coordinador a.i. de la Unidad de Auditoría Técnica)
- Ing. Víctor Hugo Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
- Ing. Francisco Fonseca Chaves (Auditor Técnico)
- Lic. Miguel Chacón Alvarado (Asesor Legal)

6. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA EL ANALISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-090B-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 auditoria, 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 LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 6 de 24
---------------------------	-------------------------------------	----------------

7. 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 por un periodo definido¹ para llevar a cabo las actividades de evaluación de la planta y muestreo de mezcla asfáltica. 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.

8. INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA

Una de las plantas es de marca ASTEC, ubicada en el barrio San José de Curridabat y la otra se encuentra ubicada en la Lima, Cartago; de marca Terex-CMI. Actualmente se produce mezcla asfáltica para actividades de conservación vial de acuerdo con la contratación directa 2009LN-003-CV para la Línea 16, zona 1-7 Cartago para el consorcio Grupo Orosí. Asimismo, durante la visita a la planta se informa que se suministra mezcla asfáltica a la Constructora Hernán Solís para las zonas: 1-1 (San José), 1-2 (Puriscal), 1-3 (Los Santos) y 1-8 (Turrialba).

El laboratorio contratado por el contratista para realizar las actividades de Control de Calidad es el laboratorio “OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A” (OJM) quien tiene unas instalaciones en la planta de producción, solamente para realizar el ensayo de contenido de humedad de los apilamientos. Las restantes actividades de control de calidad de la mezcla asfáltica se llevan a cabo en las instalaciones centrales del laboratorio.

¹ Los días 02, 03, 05, 08, 09, 10, 16 y 22 de abril de 2013 se visitó las instalaciones de la planta.

Informe LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 7 de 24
---------------------------	-------------------------------------	----------------

El diseño de mezcla para ser producido en ambas plantas es el formulado por el laboratorio de OJM identificado como el informe 780-2012² "Diseño de Mezcla Asfáltica Tamaño Máximo Nominal de 12.5 mm Designación 401(2)" del 27 de agosto de 2012.

9. 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 un hecho que hace referencia a una normativa o bien, a algún documento contractual; ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Por otra parte, las observaciones se fundamentan en normativas o especificaciones que no son documentos contractuales, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería y a la experiencia internacional. Además tienen la misma relevancia técnica que un hallazgo, ya que corresponden a hechos evidenciados por el equipo auditor.

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.

10. HALLAZGOS 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 al pavimento en servicio 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

² Se presenta el informe 382-2012 "Diseño de Mezcla Asfáltica Tamaño Máximo Nominal de 12.5 mm Designación 401(2)" del 15 de abril de 2012, el cual es análogo al informe referido.

Informe LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 8 de 24
---------------------------	-------------------------------------	----------------

correctivos, además, que habilita en algunas situaciones evaluar o reformular el diseño de la mezcla asfáltica utilizada en el proceso de pavimentación.

10.1 Sobre el control de agregados

Hallazgo N° 1: La disposición y el control general de los agregados minerales se realiza de acuerdo con la disposición general vigente AM-03-2001.

Para la producción de mezcla asfáltica se tienen dispuestos cuatro apilamientos de agregados en ambas plantas, de acuerdo con lo establecido en el diseño de mezcla agregados grueso, intermedio y polvo de piedra, estos provienen del Quebrador Ujarrás y otro apilamiento para el agregado intermedio procedente del Quebrador El Indio. Dichos apilamientos se mantienen debidamente separados entre sí, lo que evita la intercontaminación entre ellos, además la superficie sobre la que ubican se observa limpia, plana y estable.

En cuanto al espacio disponible, para el apilamiento de los agregados en la planta de la Lima, se observa que tal como se muestra en la fotografía 2 consiste en un área suficiente para mantener las cuatro fracciones que se solicitan en el cartel, considerando que además se mantienen apilados varios agregados ajenos a la producción de mezcla asfáltica. Sin embargo se observa que el espacio disponible, en la planta de Curridabat, para la recarga de agregados es limitado. En la planta de la Lima se maneja un área disponible para la recarga.

Control de agregados

Según indica el inspector de planta, los controles de humedad de los apilamientos se realizan diariamente antes del inicio de la producción y durante el proceso productivo cada dos horas, aproximadamente. Estos ensayos se llevan a cabo en las instalaciones del laboratorio de control de calidad³, contratado por el Grupo Orosí, ubicadas aproximadamente a 10 minutos de las instalaciones de la planta asfáltica de Curridabat, según lo declara el técnico de laboratorio entrevistado. Para la planta de La Lima se mantiene un área habilitada para la realización del ensayo de humedad, los demás ensayos se realizan en las instalaciones anteriormente indicadas.

En tanto se realizan controles de la granulometría de cada uno de los apilamientos de forma diaria, mientras que la verificación de la combinación granulométrica conformada

³ OJM Consultores de Calidad y Laboratorios

Informe LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 9 de 24
---------------------------	-------------------------------------	----------------

por las tolvas de dosificación en frío y obtenida en la banda transportadora se efectúa durante una vez a la semana.



Fotografía 1 Zona de apilamientos de agregados, planta Barrio San José, Curridabat.



Fotografía 2 Zona de apilamientos de agregados, planta La Lima, Cartago.

10.2 Sobre la mezcla asfáltica producida

Hallazgo N° 2: Se observa que 3 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° 780-2012 emitido por OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A, el valor óptimo de asfalto está definido como $6,12 \pm 0,5\%$ 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 5,62% y 6,62%.

Informe LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 10 de 24
---------------------------	-------------------------------------	-----------------

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en los Informes de Ensayo I-379-13, I-450-13, I-485-13, I-505-13, I-564-13, I-593-13 y I-626-13 se evidencia que tres de los resultados de contenido de asfalto son menores al límite inferior permisible, correspondiente a las muestras 731-13, 797-13 y 751-13.

En la Figura 1 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, de acuerdo con los datos del informe de diseño de mezcla vigente.

Se evidencia que los resultados de contenido de asfalto 883-13 y 830-13 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.

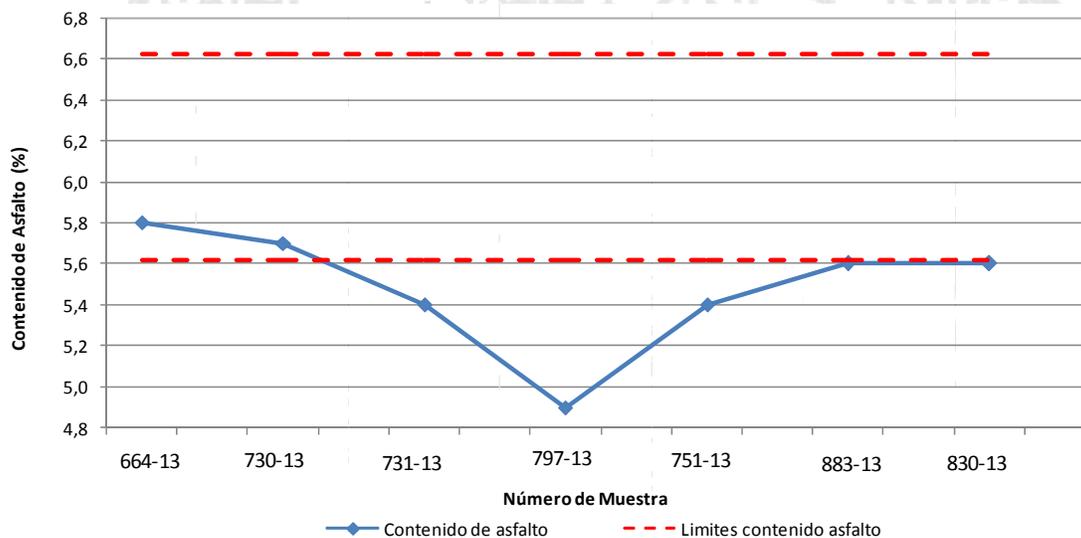


Figura 2. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica ensayadas por el LanammeUCR.

En la Tabla 1 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 1. Resultados reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR.

Informe LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 11 de 24
---------------------------	-------------------------------------	-----------------

Muestra	Fecha	Punto de muestreo	Contenido (%)		
			Agua	Asfalto	
Límite inferior				5,62	
Límite superior				6,62	
1	664 -13	02/04/2013	Planta	0,20	5,8
2	730 -13	05/04/2013	Planta	0,21	5,7
3	731 -13	05/04/2013	Planta	0,21	5,4
4	797 -13	10/04/2013	Planta	0,35	4,9
5	751 -13	09/04/2013	Planta	0,21	5,4
6	883 -13	22/05/2013	Planta	0,37	5,6
7	830 -13	16/05/2013	Planta	0,31	5,6
Promedio				0,27	5,5
Desv. Estándar				0,07	0,27

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 a la requerida en el diseño de mezcla, es posible que se produzca un faltante de asfalto que podría provocar la formación de agrietamiento de la mezcla asfáltica.

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 5. 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-379-13, I-450-13, I-485-13, I-505-13, I-564-13, I-593-13 y I-626-13, emitidos por el Laboratorio de Infraestructura Vial.

Tabla 2. 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)	
Límite inferior †			100	90	70	45	28	16	9	5	2	
Límite superior †			100	100	90	65	39	26	19	16	8	
1	664-13	02/04/2013	Planta	100	95,6	84,3	45,6	27,6	18,3	13,2	9,7	5,2
2	730-13	05/04/2013	Planta	100	96,5	87,4	50,5	32,6	22,3	16,4	11,9	6,3
3	731-13	05/04/2013	Planta	100	95,6	84,6	47,8	30,5	21,0	15,6	11,5	6,2
4	797-13	10/04/2013	Planta	100	94,2	83,1	48,9	31,4	21,2	15,5	11,3	6,2
5	751-13	09/04/2013	Planta	100	93,9	82,2	48,9	31,3	21,1	15,3	11,3	6,2
6	883-13	22/05/2013	Planta	100	96,5	84,8	48,2	29,9	19,7	14,6	11,0	6,3
7	830-13	16/05/2013	Planta	100	95,3	85,1	49,8	31,7	21,4	15,6	11,4	6,3
Promedio				100	95,4	84,5	48,5	30,7	20,7	15,2	11,2	6,1
Desv. Estándar				0,00	1,02	1,64	1,58	1,62	1,31	1,02	0,70	0,40

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

De los resultados presentados en la Tabla 2 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.

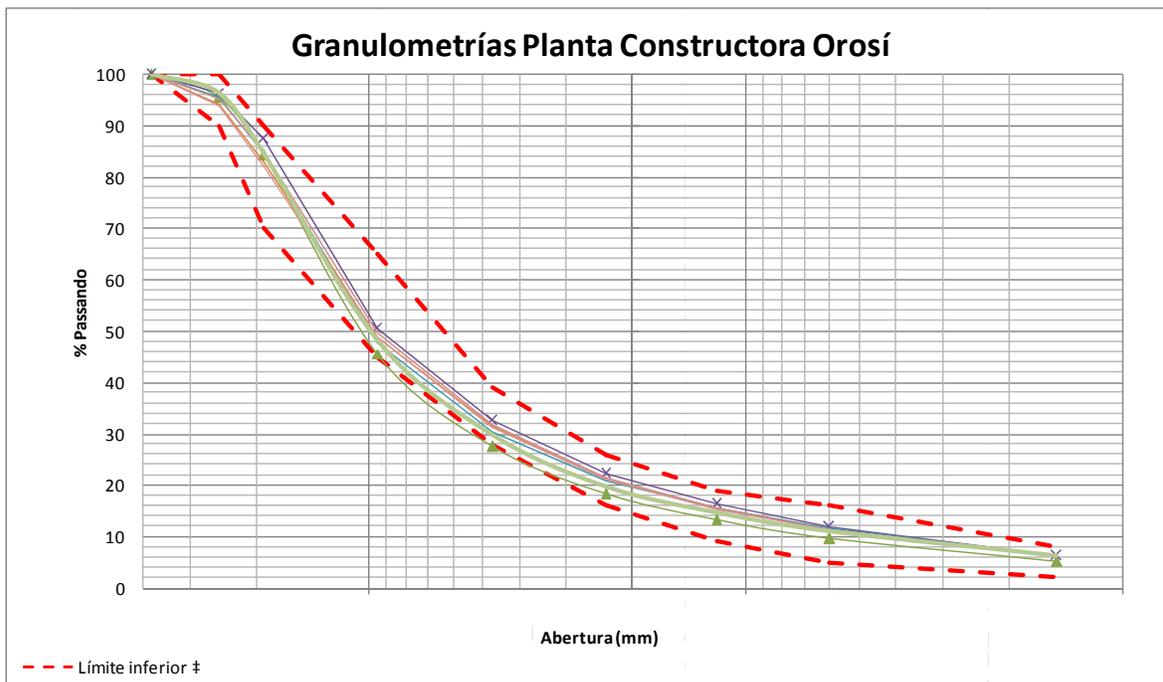


Figura 3. Resultados de composición granulométrica reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR.

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.

Al aplicar el análisis estadístico indicado en el cartel de licitación para determinar el porcentaje de trabajo que se encuentra fuera de los límites de especificación establecidos en el cartel de licitación para los diferentes tamaños granulométricos se determina un que existe una variabilidad baja, tal como se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis estadístico de los resultados de ensayo

Tamaño granulométrico	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	600 μm	300 μm	75 μm
	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(Nº4)	(Nº8)	(Nº16)	(Nº30)	(Nº50)	(Nº200)
Límite inferior	100	90	70	45	28	16	9	5	2
Límite superior	100	100	90	65	39	26	19	16	8
<i>Promedio</i>	100	95,4	84,5	48,5	30,7	20,7	15,2	11,2	6,1
<i>Desv. Estándar</i>	0,00	1,02	1,64	1,58	1,62	1,31	1,02	0,70	0,40
<i>Qs</i>	-	4,6	3,4	10,4	5,1	4,0	3,8	6,9	4,8
<i>Qi</i>	-	5,3	8,8	2,2	1,7	3,6	6,1	8,8	10,3
<i>PFLs (% fuera límites)</i>	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<i>PFLi(% fuera límites)</i>	-	0%	0%	1%	5%	0%	0%	0%	0%
<i>PFLtotal</i>	-	0%	0%	1%	5%	0%	0%	0%	0%

HALLAZGO Nº 4: Se observa que las 6 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:

Con el propósito de corroborar el cumplimiento de estas especificaciones el LanammeUCR procedió a realizar muestreos en la planta de producción de la Constructora Orosí. En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4. Especificación de parámetros según el método Marshall

Parámetro		Especificaciones
Estabilidad		Mínimo 800 kg
Flujo		20 a 35 ¹ / ₁₀₀ cm
Vacíos en la mezcla		3% a 5%
Relación polvo/asfalto		0,6 a 1,3 %
Vacíos en agregado mineral (VAM)		Mínimo 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%

Se puede observar que se presenta incumplimientos en los parámetros volumétricos Marshall para aceptación de la mezcla asfáltica, en las 6 muestras ensayadas en el parámetro relación polvo/asfalto (0,6% a 1,3%), mientras que 4 resultados incumplen el requisito para contenido de vacíos de la mezcla (3% a 5%) y el de vacíos llenos con asfalto (VFA) que se debe mantener entre 65% a 75%, 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.

El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación: Disposición Vial AM-01-2001 sección 401.06 "Requisitos de la mezcla asfáltica, según el método Marshall".

Al aplicar el análisis estadístico indicado en el cartel de licitación para determinar el porcentaje de trabajo que se encuentra fuera de los límites de especificación establecidos en el cartel de licitación a los diferentes parámetros de aceptación⁴ de la mezcla asfáltica, se obtiene que los parámetros volumétricos de porcentaje de vacíos, la relación polvo/asfalto, los vacíos llenos con asfalto (VFA) y el contenido de asfalto superan la variación máxima permitida, tal como se presenta en la tabla 6.

⁴ Se consideran parámetros de aceptación estabilidad, flujo, VMA, VFA, y relación polvo asfalto. Los parámetros de vacíos y contenido de asfalto son parámetros de evaluación para pago.

Tabla 5. Especificación de parámetros según el método Marshall

Muestra	Fecha	Punto de muestreo	Informe Lanamme	Gravedad Especifica Agregado	Gravedad Especifica Bruta	Gravedad Máxima Teórica	Vacios (%)	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	669 -13	03/04/2013	Planta	I-0420-13	2,615	2,384	2,388	5,1	2391	28,3	12,9	60,7	1,66
2	730 -13	05/04/2013	Planta	I-0420-13	2,615	2,385	2,479	3,8	2073	27,8	14,0	73,0	1,43
3	738 -13	08/04/2013	Planta	I-0563-13	2,615	2,333	2,493	6,4	1545	27,4	15,6	58,9	1,53
4	751 -13	09/04/2013	Planta	I-0563-13	2,615	2,358	2,491	5,3	1972	34,2	14,7	63,6	1,51
5	797 -13	10/04/2013	Planta	I-0563-13	2,615	2,358	2,499	6,0	2068	30,4	14,5	59,0	1,65
6	830 -13	16/04/2013	Planta	I-0642-13	2,615	2,38	2,484	4,2	1725	28,4	14,1	70,1	1,47
Promedio				2,615	2,366	2,472	5,1	1962	29,4	14,3	64,2	1,54	
Desviación Estándar				0,000	0,020	0,042	1,0	296	2,6	0,9	6,0	0,10	

Tabla 6. Análisis estadístico de los resultados de ensayo

Parámetro	Vacios (%)	Estabilidad (kgf)	Flujo (1/100cm)	VMA (%)	VFA (%)	Relación polvo / asf	Contenido de asfalto
Especificación / Límite inferior	3	800	20	14	65	0,6	5,62
Especificación / Límite superior	5	-	35	-	75	1,3	6,62
Promedio	5,1	1962	29,4	14,3	64,2	1,54	5,49
Desviación Estándar	1,0	296	2,6	0,9	6,0	0,10	0,27
Qs	-0,1	-	2,2	-	1,8	-2,5	4,1
Qi	2,1	3,9	3,7	0,3	-0,1	9,9	-0,5
PFLs(% fuera limites)	55%		1%		4%	99%	0%
PFLi(% fuera limites)	2%	0%	0%	37%	55%	0%	69%
PFLtotal(% fuera limites)	57%	0%	1%	37%	59%	99%	69%
Máximo permitido para aceptación, sin rebajo por calidad*	20%	20%	20%	20%	20%	20%	18%
Máximo permitido para aceptación*	56%	56%	56%	56%	56%	56%	54%

*Se comparan todos los parámetros bajo el supuesto que los parámetros de aceptación anteriormente indicados pertenecen a la misma categoría (Nivel I) que los parámetros de pago.

Informe LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 17 de 24
---------------------------	-------------------------------------	-----------------

10.3 Sobre la consistencia del diseño de mezcla vigente durante el periodo de estudio

OBSERVACIÓN Nº 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 ¹ / ₁₀₀ 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 $6,12\% \pm 0,5\%$ (5,62% a 6,62%). 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), vacíos en el agregado mineral (VMA con un valor mínimo de 14%) y la relación polvo/asfalto (0,6 a 1,3) se cumplen para el rango de óptimo de contenido de asfalto el diseño.
- Sin embargo los parámetros de flujo (20 a 35 1/100 cm) y vacíos de la mezcla (3% a 5%), restringen el rango óptimo de asfalto de 6,62% a 6,51% y de 5,62% a 5,84%, respectivamente.
- Según lo que se indica el informe de diseño de mezcla asfáltica, el tránsito que se estima para la ruta se clasifica como alto (mayor a 3 millones de ejes equivalentes), por lo que el parámetro de VFA debe mantenerse entre 65% y 75% (inciso i. del apartado 401.06.02 de la Disposición Vial AM 01 2009). Por lo que para cumplir con la especificación de VFA, el límite superior del contenido de asfalto también se restringiría de 6,62% a 6,13%.

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.

Informe LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 19 de 24
---------------------------	-------------------------------------	-----------------

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° 780-2012.

Parámetro	Límites de especificación		Contenido de asfalto (5,62% a 6,62%)	
			Límites	
			Inferior	Superior
Estabilidad, kg	Mayor a 800		5,62	6,62
Flujo, 1/100 cm	20	35	5,62	6,51
Contenido de vacíos, %	5	3	5,84	6,49
Relación Polvo/asfalto	1,3	0,6	5,62	6,62
VMA	Mayor a 14		5,62	6,62
VFA (superior a 3 millones) **	65	75	5,63	6,13
Rango efectivo de contenido de asfalto (ver Figura 4)			5,84	6,13
Porcentaje de variación del límite de contenido de asfalto			22%	49%

Cumplimiento de requisitos - Diseño OJM780-12

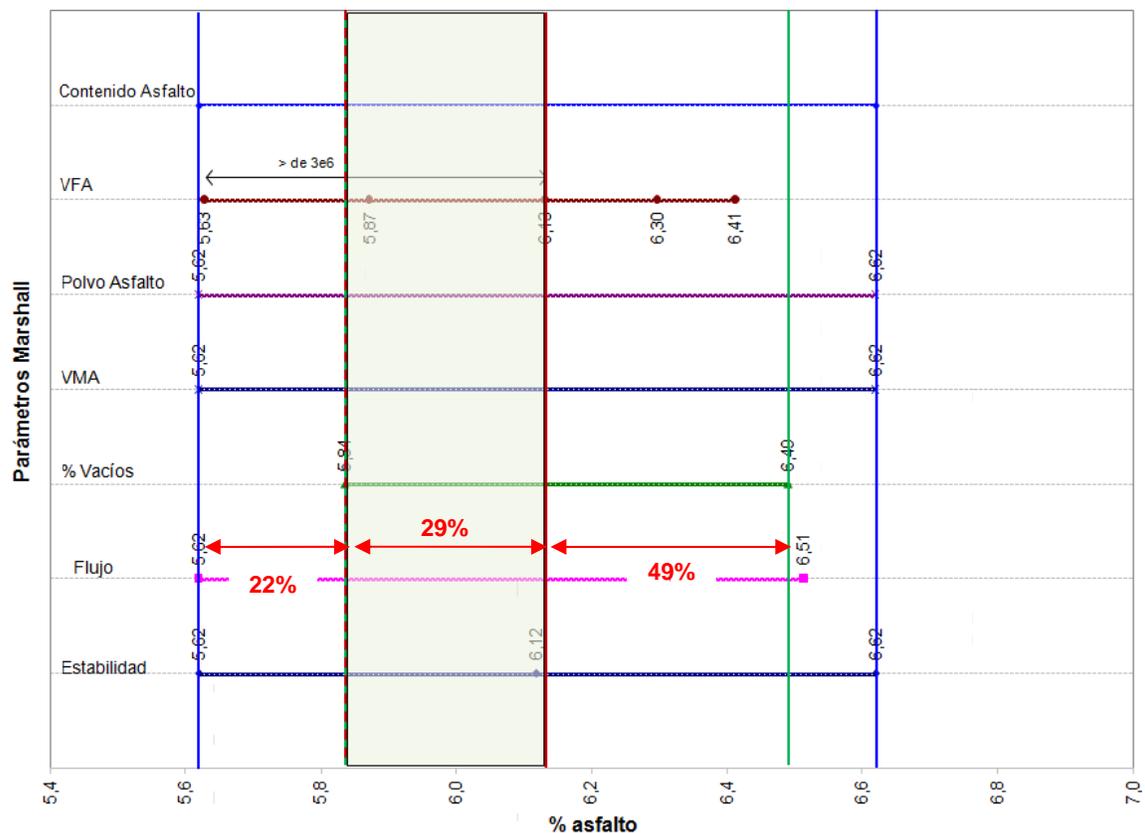


Figura 4. Análisis gráfico del rango efectivo de contenido de asfalto para el informe N° 780-2012.

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.

Como resultado de este análisis se puede advertir que 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.

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.

Informe LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 21 de 24
---------------------------	-------------------------------------	-----------------

11. CONCLUSIONES

A partir de las visitas a la planta de asfalto, la valoración de la documentación de calibración, del proceso de pesaje 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, determinación de humedades, protección de acopios entre otros aspectos.
- b. Se observa que 3 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 4 resultados de las restantes muestras, se mantienen cercanos al 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. En alguna de las 6 muestras ensayadas se presentan incumplimientos en los parámetros volumétricos Marshall para aceptación de la mezcla asfáltica, contenido de vacíos (4 muestras), vacíos llenos con asfalto -VFA- (4 muestras) y en la relación polvo/asfalto (6 muestras).
- e. El análisis del diseño de mezcla determinó que el parámetro volumétrico de contenido de vacíos en la mezcla evidencia un incumplimiento en un 35% del rango de contenido óptimo de asfalto, mientras que el parámetro vacíos llenos de asfalto (VFA) muestran un incumplimiento en un 49% del rango de contenido óptimo de asfalto establecido en el diseño de mezcla (Informe N°780-2012) descatando lo establecido en la disposición vial AM-01-2009. Lo cual restringe a solamente un 29% el rango efectivo de asfalto en donde se cumplen todos los parámetros establecidos para la aceptación de la mezcla asfáltica.
- 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.

Informe LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 22 de 24
---------------------------	-------------------------------------	-----------------

11. 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.

Informe LM-PI-AT-90-13	Fecha de emisión: Diciembre de 2013	Página 23 de 24
---------------------------	-------------------------------------	-----------------



Equipo Auditor

Ing. Víctor Cervantes Calvo.
Auditor Técnico, LanammeUCR

Ing. Francisco Fonseca Chaves.
Auditor Técnico, LanammeUCR

Aprobado por:

Ing. Luis Guillermo Loría 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