

INFORME DE
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-115-10

**Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica en caliente
producida en la planta de la empresa constructora Santa Fe,
Guápiles**

**Proyectos LP-01-2005:
Conservación vial red nacional pavimentada, zona 1-1
Conservación vial red nacional pavimentada, zona 1-4**

Octubre 2010

TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN EJECUTIVO	4
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Potestades	9
1.2 Objetivo de las auditorías técnicas	9
1.3 Objetivos del informe	10
1.4 Alcance del informe	10
1.5 Información general del proyecto vial	11
2. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	13
2.1 Hallazgos de la Auditoría	13
2.1.1 Sobre la mezcla asfáltica producida	14
2.1.2 Sobre el diseño de mezcla	17
2.1.3 Sobre el cumplimiento contractual del informe de diseño de mezcla	19
2.2 Observaciones de la Auditoría	22
2.2.1 Sobre la variabilidad estadística de la mezcla asfáltica producida	23
2.2.2 Sobre la consistencia del diseño de mezcla	25
3. CONCLUSIONES	32
4. RECOMENDACIONES	34
ANEXOS	36
Anexo 1. Gráficos de los resultados de los ensayos de granulometría realizados a las muestras de mezcla asfáltica	37
Anexo 2. Informe de Ensayo I-0583-10	41
Anexo 3. Sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”	42

ÍNDICE DE TABLAS

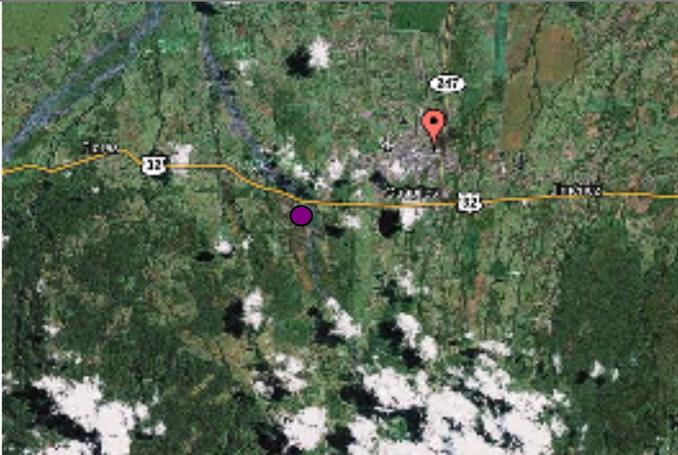
	Página
Tabla 1. Zonas a las que distribuye mezcla asfáltica en caliente la planta de producción de Constructora Santa Fe ubicada en Guápiles.....	11
Tabla 2. Parámetros generales del diseño de mezcla asfáltica según informe INF. 2651-2008.....	12
Tabla 3. Resultados contenido de asfalto reportados en el informe de ensayo I-0583-10	14
Tabla 4. Resultados de composición granulométrica reportados en el informe I-0583-10.	16
Tabla 5. Granulometría del diseño de mezcla asfáltica de acuerdo con informe N° 2931-2009	17
Tabla 6. Análisis del informe de diseño de mezcla INF. 2931-2009 con respecto a los requisitos documentales establecidos en la Disposición Vial MN-01-2001	21
Tabla 7. Índices de calidad y variabilidad de los resultados de la mezcla asfáltica analizada.	24
Tabla 8. Valores definidos para los parámetros de calidad en la Disposición Vial AM-01-2001.....	25
Tabla 9. Análisis del rango efectivo de contenido de asfalto para el informe INF. 2931-2009.....	29

**RESUMEN EJECUTIVO
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-115-10**

**Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica
en caliente producida en la planta de la empresa constructora
Santa Fe, Guápiles**

**Proyectos LP-01-2005:
Conservación vial red nacional pavimentada, zona 1-1
Conservación vial red nacional pavimentada, zona 1-4**

Octubre 2010

Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica en caliente producida en la planta de la empresa constructora Santa Fe, Guápiles	
Informe de Auditoría Técnica Externa LM-AT-083-10	
Potestades	
La auditoría técnica externa a los procesos, controles, laboratorios, proyectos e instituciones públicas que efectúan sus labores en las rutas nacionales, se realiza de conformidad con la disposición 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 de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).	
Objetivo	
Evaluar estadísticamente algunas de las características más relevantes de la mezcla asfáltica (contenido de asfalto y graduación de la mezcla) que se produce en la Planta Santa Fe, situada en Guápiles, con respecto a lo establecido en la actualización de especificaciones especiales del cartel de Licitación LP-01-2005, así como evaluar el contenido documental del informe de diseño de mezcla y el cumplimiento de las especificaciones y parámetros establecidos en la metodología empleada, en el rango de contenido de asfalto establecido en dicho diseño.	
Alcance	
Análisis de las muestras de la mezcla asfáltica en caliente, fabricada en la planta de producción de la Constructora Santa Fe ubicada de Guápiles en Limón, tomadas en el periodo del 18 al 28 de mayo de 2010. Además del análisis del diseño de mezcla vigente durante el periodo de estudio.	
Localización de la planta	
	Actividades realizadas por la auditoría: <ul style="list-style-type: none"> • Visita a la planta de producción. • Solicitud de documentación durante la visita en planta. • Toma de muestras de mezcla asfáltica. • Ensayo de muestras y análisis de resultados de mezcla asfáltica. • Solicitud y análisis del diseño de mezcla vigente.
Hallazgos	
<i>Descripción</i>	<i>Fundamento normativo</i>
Contenido de asfalto de las muestras analizadas Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en el Informe de Ensayo I 0583-10 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR, se evidencia que todos	Apartado 401.06 "Requisitos para la mezcla asfáltica" de la Disposición Vial AM-01-2001

los resultados de contenido de asfalto se encuentran dentro de los límites permisibles del rango establecido, tal como se resume en la Tabla 3 y se observa en la Figura 1.	
<i>Granulometría de muestras analizadas</i> Se determina que dos de los resultados para los tamaños granulométricos N°16 y N°30 analizados en la muestra (ver tabla 4), sobrepasan el límite superior de especificación para la granulometría de diseño aplicada (tamaño máximo nominal de 12,5 mm).	Tabla 1 Apartado 401.04.02.01 Graduación de la combinación de agregados” de la Disposición Vial AM 01-2001
<i>Granulometría de diseño</i> Como resultado del análisis del rango de granulometría de diseño, se evidenció que el límite inferior del porcentaje de agregado que pasa las mallas de ½” y N° 4, se encuentran por debajo del límite inferior de especificación y por encima del límite superior de especificación para la malla N° 30, (ver Tabla 5)	Tabla 1 Apartado 401.04.02.01 Graduación de la combinación de agregados” de la Disposición Vial AM 01-2001
<i>Requisitos documentales del informe de diseño de mezcla</i> Al estudiar el contenido del informe de diseño de mezcla vigente para el periodo de estudio mezcla INF.2931-1009, se determina que cumple con todos los requisitos documentales establecidos en las especificaciones (ver Tabla 6)	Apartado 401.07.01 “ Requisitos para el informe de diseño de mezcla y fórmula de mezcla asfáltica” de la Disposición Vial AM-01-2001 y apartado 3.2 “Requerimientos para el Diseño de Mezcla y la Fórmula de Mezcla de Trabajo” de la Disposición Vial MN 01 2001
Observaciones	
Descripción	Norma técnica de referencia
<i>Variabilidad estadística de los parámetros de granulometría y contenido de asfalto</i> Del análisis de los resultados (ver Tabla 7) se concluye que la variabilidad del parámetro de contenido de asfalto, así como de los tamaños granulométricos es no significativa, lo cual implica que la probabilidad de incumplimiento de este parámetro es baja.	Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales” y Disposición Vial AM 01 2001
<i>Rango de contenido de asfalto en el que se cumplen los parámetros de las especificaciones</i> Del análisis realizado se determina que los parámetros que restringen el rango efectivo de contenido de asfalto son flujo, vacíos de mezcla y la relación polvo/asfalto y vacíos llenos de asfalto.	Apartado 401.06 “Requisitos para la mezcla asfáltica” de la Disposición Vial AM-01-2001.

INFORME DE
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-115-10

**Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica en caliente
producida en la planta de la empresa constructora Santa Fe,
Guápiles**

**Proyectos LP-01-2005:
Conservación vial red nacional pavimentada, zona 1-1
Conservación vial red nacional pavimentada, zona 1-4**

Octubre 2010

INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica en caliente producida en la planta de la empresa constructora Santa Fe, Guápiles
Departamento encargado del proyecto: Dirección de Conservación Vial
Presupuesto oficial: ¢393.819.191,26
Contratación Directa: N° 2009CD-000094-DE
Plazo de ejecución: seis meses
Área auditada: <ul style="list-style-type: none">- Mezcla asfáltica producida y diseño de mezcla asfáltica definido para las labores de conservación vial en la planta de producción Santa Fe-Guápiles
Coordinadora de Auditoría Técnica: Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng.
Auditores: Ing. Ellen Rodríguez Castro Ing. Víctor Cervantes Calvo
Asesor Legal Externo: Lic. Miguel Chacón Alvarado
Alcance de la auditoría: <ul style="list-style-type: none">- Ensayo y análisis de las muestras de la mezcla asfáltica en caliente, fabricada en la planta de producción de la Constructora Santa Fe ubicada de Guápiles en Limón, tomadas en el periodo del 18 al 28 de mayo. Además del análisis del diseño de mezcla vigente durante el periodo de estudio.
Referencias: <ul style="list-style-type: none">- Periodo de toma de muestras de mezcla asfáltica en caliente: 18 a 28 de mayo de 2010- Diseño de mezcla vigente, informe con identificación N° 2931-2009- Informes de resultados de ensayo I-0538-10 entregado por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR a la auditoría técnica el 18 de junio de 2010- Normativa contractual: Disposición Vial AM-01-2001 y MN-01-2001

1. INTRODUCCIÓN

1.1 POTESTADES

La auditoría técnica externa a los procesos, controles, laboratorios, proyectos e instituciones públicas que efectúan sus labores en las rutas nacionales, 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 de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).

Sobre esta competencia, en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril de 2002, de la Procuraduría General de la República, señala que:

“... la fiscalización que realiza la Universidad de Costa Rica 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 riesgo de esa red. La cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.” (El subrayado no es del original)

1.2 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.

Es importante recalcar que la labor de fiscalización, por su naturaleza, es un proceso que se basa en la aplicación de técnicas aleatorias para seleccionar y definir una muestra representativa del objeto de estudio, en la cual se basan las conclusiones incluidas en los informes de auditoría, fundamentándose en los documentos contractuales, así como en las buenas prácticas de ingeniería y otros análisis técnicos que puedan enriquecer el contenido de los informes.

La labor que se efectúa en un proceso de auditoría se orienta en recopilar y analizar evidencia durante un periodo definido e identificar posibles aspectos que pueden afectar la calidad del proyecto; es función de la Administración analizar, con las partes participantes en el proyecto que considere convenientes, el impacto de los hallazgos y observaciones incluidos en los informes de Auditoría Técnica.

Los hallazgos y observaciones que se enuncian pretenden evidenciar deficiencias del proceso productivo y/o constructivo que deben ser analizadas con respecto al cumplimiento contractual para que la Administración tome las medidas que considere necesarias, con el propósito de prevenir los efectos que podrían ocurrir en el proyecto de marras o en futuros proyectos y para plantear medidas preventivas y correctivas para el proyecto en estudio.

1.3 OBJETIVOS DEL INFORME

Evaluar estadísticamente los parámetros de contenido de asfalto y granulometría de la mezcla asfáltica que se está produciendo en la planta de la empresa Santa Fe ubicada en Guápiles de conformidad con lo que se dispone en las especificaciones contractuales.

Comprobar que el informe de diseño de mezcla presentado por el contratista cumple con los requisitos documentales y técnicos establecidos contractualmente.

1.4 ALCANCE DEL INFORME

El estudio que realiza esta auditoría consiste en el análisis de los resultados de las muestras de mezcla asfáltica en caliente tomadas entre el 18 y el 28 de mayo de 2010 durante el proceso productivo de mezcla asfáltica, en cuanto a lo establecido en la Disposición Vial AM-01-2001.

Análisis del informe de diseño de mezcla vigente durante el periodo de estudio conforme con lo que se establece en las Disposiciones Viales AM-01-2001 y MN-01-2001, en cuanto al contenido documental y cumplimiento de las especificaciones contractuales en el rango de contenido de asfalto definido en el diseño de mezcla.

1.5 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO VIAL

La planta productora de mezcla asfáltica en caliente de la Constructora Santa Fe ubicada en Guápiles, suministra la mezcla asfáltica en caliente a los proyectos de Conservación Vial de la red nacional pavimentada de las zonas que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Zonas a las que distribuye mezcla asfáltica en caliente la planta de producción de Constructora Santa Fe ubicada en Guápiles

Zona	Descripción
Zona 1-1	San José, Goicoechea, Tibás, Moravia, Vásquez de Coronado, Montes de Oca
Zona 1-4	Poás, Alajuela y Atenas

Las actividades llevadas a cabo por el equipo de auditoría, consistieron en visitar las instalaciones de la planta productora durante un periodo definido¹ de producción de mezcla asfáltica en caliente, y con el apoyo del personal del laboratorio de campo del LanammeUCR² con el propósito de efectuar un muestreo de la producción.

En cada visita se eligió una vagoneta cargada con producto para obtener una muestra representativa de la mezcla asfáltica. Al final del periodo de visitas se completó un total de siete muestras de la mezcla asfáltica producida, las cuales fueron posteriormente ensayadas en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). Los ensayos realizados consistieron en determinar el valor del contenido de asfalto (ASTM D-6307³/ASTM D-95⁴) y la composición granulométrica (ASTM D-5444⁵) de cada una de las muestras.

También se procedió a tomar 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. El propósito de obtener dichos materiales es establecer el factor de corrección tipificado para el ensayo de contenido de asfalto

¹ Los días 19, 20, 21, 25, 26, 27 y 28 de mayo de 2010 se obtuvo muestra de la producción de mezcla.

² El laboratorio de campo del LanammeUCR, es el encargado de realizar los ensayos de laboratorio en campo y de la toma de muestras de materiales de construcción usados en obra vial y civil.

³ ASTM D-6307: "Contenido de asfalto de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método de ignición"

⁴ ASTM D-95: "Contenido de agua en petróleo y materiales bituminosos por destilación"

⁵ ASTM D-5444: "Análisis mecánico del agregado extraído"

(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.

La unidad supervisora de la zona 5-1 remitió a esta auditoría, mediante el oficio UI (5-1) 469-2010 del 30 de junio de 2010, el informe de diseño de mezcla que se encontraba vigente durante el periodo en estudio, el cual fue elaborado por la empresa CACISA e identificado como INF. 2931-2009. Los parámetros generales definidos en el diseño de mezcla se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros generales del diseño de mezcla asfáltica según informe INF. 2651-2008

Parámetro	Valor
Contenido óptimo de asfalto	5,85 % (sobre el peso de mezcla)
Proporción de agregados	50 % (Fracción de finos) 35 % (Fracción de intermedios) 15 % (Fracción de gruesos)
Granulometría de diseño	12,5 mm

Como parte de las labores de auditoría se estudia el contenido documental del informe de diseño de mezcla remitido mediante el oficio mencionado anteriormente. Complementariamente se analiza el diseño de mezcla propuesto por el contratista y aprobado por la Administración mediante el informe DCV-IDM-2009-005 del 4 de diciembre del 2009, para corroborar que cumple con todos los parámetros Marshall y especificaciones volumétricas establecidas en la Disposición Vial AM-01-2001, aplicando el procedimiento utilizado en el informe de auditoría 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.

2. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES 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, objetivas y respaldados en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de las muestras recolectadas y el levantamiento en campo 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 reduzcan el riesgo potencial de incumplimiento en posteriores proyectos de conservación vial.

2.1 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 correctivos. Además, permite evaluar o reformular el diseño de la mezcla asfáltica utilizada en el proceso de pavimentación en algunas situaciones.

2.1.1 Sobre la mezcla asfáltica producida

Hallazgo N° 1: Se evidencia que el contenido de asfalto de todas las muestras analizadas, se encuentra dentro de los límites de especificación establecidos en el diseño de mezcla (óptimo $\pm 0,5\%$)

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

De acuerdo con el diseño de mezcla vigente presentado en el INF. 2931-2009⁶ para la producción de la mezcla asfáltica en caliente durante el periodo de estudio, el valor óptimo de asfalto está definido como $5,85 \pm 0,5\%$ sobre el peso de la mezcla, lo cual establece los límites permisibles del rango de contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica producida entre $5,35\%$ y $6,35\%$.

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en el Informe de Ensayo I-0583-10, se evidencia que todos los resultados de contenido de asfalto se encuentran dentro de los límites permisibles del rango establecido, tal como se resume en la Tabla 3 y se observa en la Figura 1.

Tabla 3. Resultados contenido de asfalto reportados en el informe de ensayo I-0583-10[†]

Fecha	19/05/10	20/05/10	21/05/10	25/05/10	26/05/10	27/05/10	28/05/10	Promedio	Desviación Estándar	
Muestra	1192-10	1197-10	1206-10	1247-10	1248-10	1249-10	1250-10			
Límite inferior								5,35		
Límite superior								6,35		
Parámetros	Incertidumbre	Valores Reportados								
Factor Corrección (%)	$\pm 0,1$	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	--	--
Contenido agua (%)	$\pm 0,01$	0,20	0,18	0,14	0,18	0,20	0,22	0,14	--	--
Contenido Asfalto (%)	$\pm 0,1$	5,6	5,8	5,9	5,6	5,5	5,6	5,5	5,6	0,15

[†] Emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR y recibido por la auditoría el 18 de junio de 2010.

⁶ Informe de diseño elaborado por CACISA para el empresa Santa Fé, Planta Guápiles, el cual fue enviado por el ingeniero de proyecto mediante el oficio UI (5-1) 469-2010 del 30 de junio de 2010

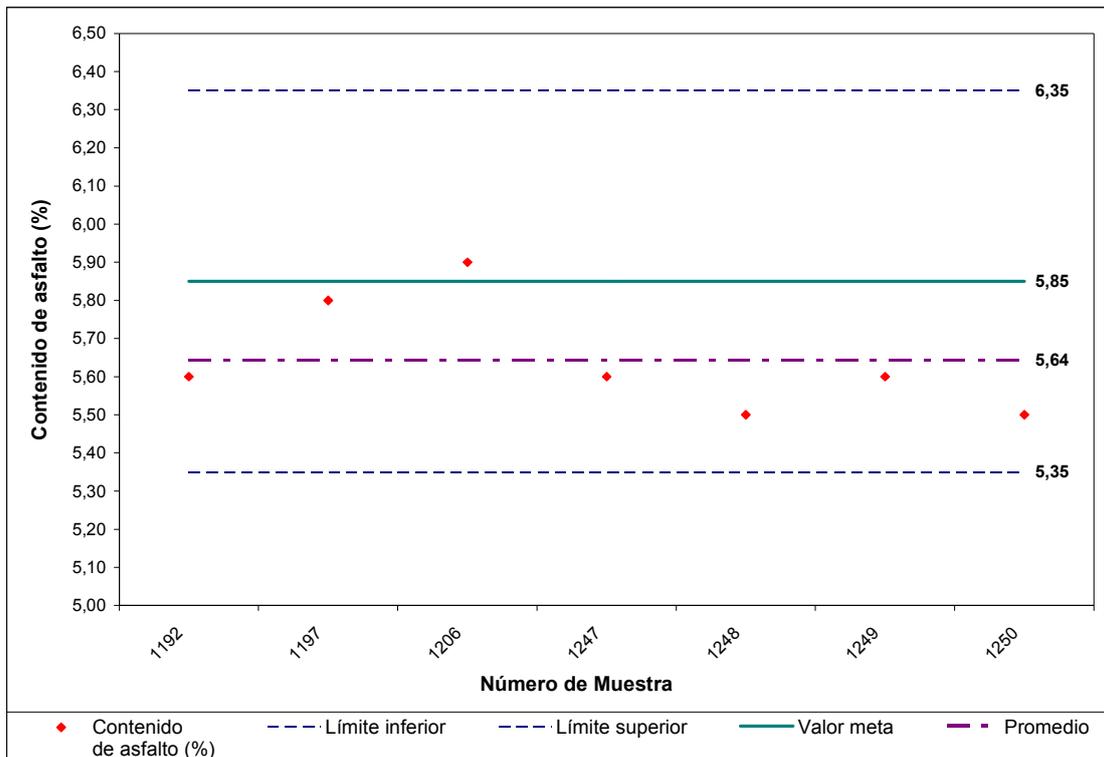


Figura 1. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica ensayadas.

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-01-2001.

Mantener la cantidad de asfalto dentro de los requisitos definidos en el proceso de diseño para la mezcla asfáltica permite mantener un estándar de la calidad del producto, debido a que se mantiene una proporción volumétrica congruente entre el asfalto y el agregado, permitiendo reducir la manifestación de deterioros en la carpeta asfáltica, tales como exudación por exceso de asfalto o desprendimiento de agregados por falta de asfalto.

Hallazgo N° 2: Se detecta que un resultado reportado para la malla (tamaño granulométrico) N° 16 y uno correspondiente a la malla N° 30, exceden el límite de especificación para la granulometría de la mezcla asfáltica producida (tamaño máximo nominal de 12,5 mm) establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001.

Los resultados, de la composición granulométrica de las muestras analizadas de mezcla asfáltica producida, se detallan en la Tabla 4. Dichos resultados corresponden al ensayo realizado de acuerdo con la norma ASTM D-5444 "Análisis mecánico del agregado extraído" que realizó el laboratorio del LanammeUCR, los cuales fueron reportados en el informe I-0583-10 entregado por el Laboratorio de Infraestructura Vial.

Tabla 4. Resultados de composición granulométrica reportados en el informe I-0583-10[†].

Fecha				19/05/10	20/05/10	21/05/10	25/05/10	26/05/10	27/05/10	28/05/10	Promedio	Desviación Estándar	
Muestra				1192-10	1197-10	1206-10	1247-10	1248-10	1249-10	1250-10			
Mallas		Límites de Especificación [‡]		(% pasando)									
3/4"	± 0,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	--	--	
1/2"	± 0,1	90	100	90,6	91,2	93,0	92,5	94,1	92,9	91,1	92,2	1,26	
3/8"	± 0,1	70	90	79,1	79,8	81,3	81,7	83,0	84,8	75,3	80,7	3,05	
N° 4	± 0,1	45	65	49,6	47,9	53,6	46,7	48,3	52,0	45,8	49,1	2,82	
N° 8	± 0,1	28	39	34,4	33,6	38,6	32,8	34,0	35,4	32,5	34,5	2,06	
N° 16	± 0,10	16	26	23,95	23,12	26,42	23,2	23,65	24,12	22,61	23,87	1,24	
N° 30	± 0,08	9	19	17,51	16,67	19,17	17,3	17,09	17,34	16,22	17,33	0,93	
N° 50	± 0,07	5	16	12,05	11,84	13,13	12,2	12,05	11,73	11,39	12,06	0,55	
N° 200	± 0,05	2	8	5,05	4,85	5,49	5,70	4,93	4,72	4,66	5,06	0,40	

[†] Emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR y recibido por la auditoría el 18 de junio de 2010.

[‡] Según la Tabla 1 del apartado 401.04.02.01 de la Disposición Vial AM-01-2001

De los datos presentados en la Tabla 4, se determina que dos de los resultados (% pasando) para los tamaños granulométricos N°16 y N°30 analizados en la muestra 1206-10, sobrepasan el límite superior de especificación establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001 para la granulometría de diseño aplicada (tamaño máximo nominal de 12,5 mm).

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.

Es fundamental cumplir con los límites de especificación de la combinación granulométrica, porque su principal objetivo es tener bajo control la distribución volumétrica de los agregados en la mezcla asfáltica producida, con el fin de obtener un mejor desempeño durante la etapa de operación, y a la vez optimizar las características de trabajabilidad y resistencia; por esta razón es importante mantener los tamaños granulométricos dentro de los límites establecidos en las especificaciones contractuales.

En las Figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 que se adjuntan en el Anexo 1, se presentan gráficamente los resultados de cada una de las granulometrías de las muestras ensayadas.

2.1.2 Sobre el diseño de mezcla

Hallazgo N° 3: Se logra determinar que el rango de la granulometría de diseño excede, en algunos casos, de la tolerancia de la combinación granulométrica establecida en la Disposición Vial AM-01-2001 para el tamaño máximo nominal de 12,5 mm.

En la Tabla 1 “Graduación de la combinación de agregados” de la Disposición Vial AM-01-2001 se establece la tolerancia permitida para cada uno de los tamaños granulométricos del tamaño nominal seleccionado en el diseño de mezcla. Con el propósito de corroborar que el diseño de mezcla definido en el informe INF. 2931-2009 cumpla con las tolerancias especificadas en la Disposición Vial se tabulan los valores correspondientes a la granulometría y tolerancia de diseño en la Tabla 5.

Como resultado del análisis del rango de granulometría de diseño, se evidenció que el límite inferior del porcentaje de agregado que pasa las mallas de 1/2” y N° 4, se encuentran por debajo del límite inferior de especificación en una magnitud de un punto porcentual, tal como se detalla en la Tabla 5. Además, el límite superior del rango de granulometría de diseño es mayor en dos puntos porcentuales al límite superior de especificación para la malla N° 30, incumpliendo con lo que se establece en las especificaciones contractuales.

Tabla 5. Granulometría del diseño de mezcla asfáltica de acuerdo con informe N° 2931-2009

Mallas	Rango de especificación (1)	Tolerancia de granulometría (1) (2)	Granulometría de diseño	Rango de diseño (3)
¾ (19,1 mm)	100	-----	100	100
½ (12,5 mm)	90 – 100	± 5	94	89 – 99
⅜ (9,5 mm)	70 – 90	± 5	78	73 – 83
Nº 4 (4,75 mm)	46 – 65	± 4	49	45 – 53
Nº 8 (2,36 mm)	28 – 39	± 4	32	28 – 36
Nº 16 (1,18 mm)	16 – 26	± 4	21	17 – 25
Nº 30 (600 µm)	9 – 19	± 4	17	13 – 21
Nº 50 (300 µm)	5 – 16	± 4	12	8 – 16
Nº 200 (75 µm)	2 – 8	± 2	5,8	3,8 – 7,8

(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-01-2001.

(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.

También se advierte que los límites del rango de diseño para las mallas Nº 8 y Nº 50 se encuentran sobre el límite inferior y superior de especificación, respectivamente.

Coincidir o exceder los límites del rango de diseño y los límites de especificación podrían representar un riesgo potencial de incumplimiento, ya que reduce notoriamente la zona de reacción/ajuste (tolerancia) ante eventuales fluctuaciones de la granulometría producto de la variabilidad propia del proceso de producción. Ejemplo de ello es la reducción en dos puntos porcentuales del ámbito de reacción en la malla Nº30, que pasa de ser de 17±4 (13-21) a un ámbito efectivo de +4/-2 (13-19).

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.

Normativa técnica de referencia 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.

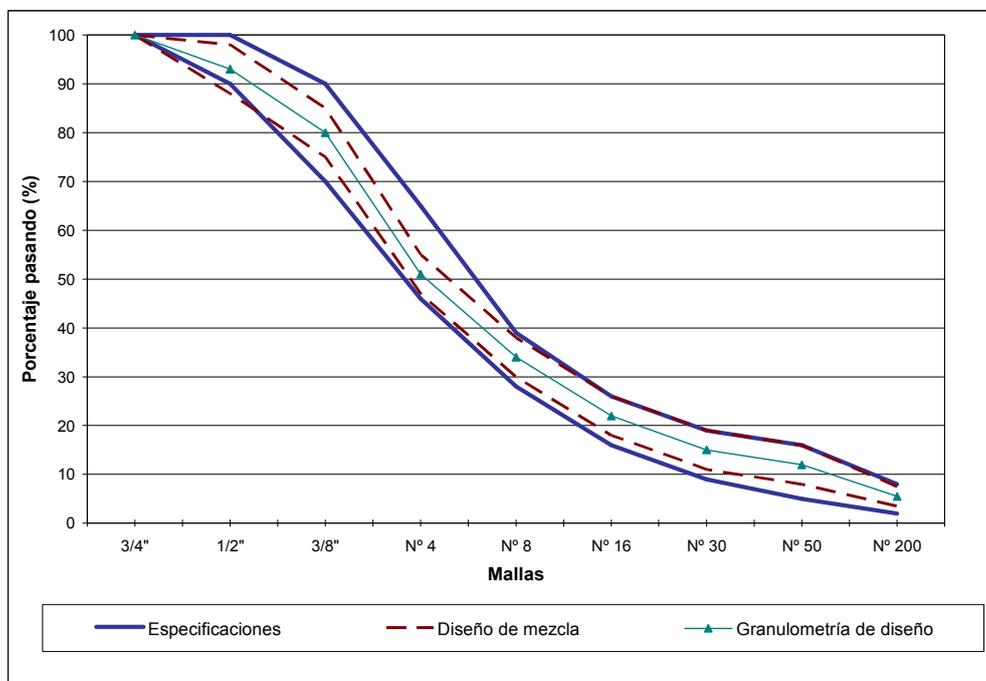


Figura 2. Gráfico comparativo de granulometría de diseño de mezcla, rango de diseño y límites de especificación según la Disposición Vial AM-01-2001

2.1.3 Sobre el cumplimiento contractual del informe de diseño de mezcla

Hallazgo N° 4: El informe de diseño de mezcla INF.2931-1009, incluye todos los requisitos documentales que establecen las especificaciones contractuales

La Disposición Vial MN-01-2001 “Diseño y fórmula de mezcla para el trabajo” señala que previo al inicio de la producción de mezcla asfáltica, el Contratista debe presentar un informe de diseño de mezcla que contenga toda la información estipulada en el apartado 3.2 “Requerimientos para el diseño de mezcla y la fórmula de mezcla para el trabajo”.

Como parte de las labores realizadas para este estudio, la auditoría analizó la información contenida en el informe del diseño de mezcla vigente durante el periodo de estudio (aprobado por el Subdirector de Conservación Vial el 4 de diciembre del 2009) para corroborar que cumpliera con lo requerido en las disposiciones viales mencionadas. El diseño de mezcla fue remitido a esta autoridad el 30 de junio de 2010, mediante el oficio UI (5-1) 469-2010, como se indicó anteriormente.

El resumen de dicho análisis se presenta en la Tabla 6, resultando que el informe presentado a la Unidad de Verificación de Calidad del CONAVI para su aprobación, contiene toda la información que dispone la Disposición Vial MN-01-2001

El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación:
Apartado 401.07.01 “ Requisitos para el informe de diseño de mezcla y fórmula de mezcla asfáltica” de la Disposición Vial AM-01-2001 y apartado 3.2 “Requerimientos para el Diseño de Mezcla y la Fórmula de Mezcla de Trabajo” de la Disposición Vial MN-01-2001.

La información que debe contener el informe de diseño de mezcla permite corroborar si la fuente y las características de los materiales, así como las características de la mezcla se mantienen constantes durante la producción, o bien solicitar un replanteamiento del diseño de mezcla si se produce alguna variación considerable.

Tabla 6. Análisis del informe de diseño de mezcla INF. 2931-2009 con respecto a los requisitos documentales establecidos en la Disposición Vial MN-01-2001

Información y documentación que debe contener el informe de diseño de mezcla según la Disposición Vial MN-01-2001		Informe INF.2931-2009
Información General	a. Nombre del proyecto y licitación	✓
	b. Nombre, tipo y ubicación de la planta	✓
	c. Fecha de elaboración del diseño y del Informe	✓
	d. Tipo de mezcla y uso	✓
	e. Nombre laboratorio que elaboró diseño y profesional que certifica el informe	✓
	f. Nombre, ubicación y N° de expediente minero de c/u de las fuentes de agregado propuestas	✓
Agregados	a. Fecha de muestreo así como el procedimiento utilizado.	✓
	b. Nombre de cada una de las personas que participaron en el muestreo.	✓
	c. Granulometría de diseño con los porcentajes pasando en cada malla para la mezcla de agregados.	✓
	d. Fuente de cada apilamiento de agregados a ser usados.	✓
	e. Graduación promedio de cada apilamiento de agregados.	✓
	f. Resultados de pruebas de calidad según las especificaciones contractuales	✓
	g. Resultados de los ensayos de gravedad específica y porcentaje de absorción de cada agregado utilizado en el diseño.	✓
	h. Gravedad específica y porcentaje de absorción de mezcla de agregados.	✓
	i. Indicar el tipo de relleno mineral a utilizar, sus características y su forma de incorporación a la mezcla (cuando aplique).	NA
Ligante (cemento asfáltico)	a. Fecha de muestreo y procedimiento utilizado.	✓
	b. Nombre de las personas que participaron en el muestreo.	✓
	c. Resultados de las pruebas de calidad al ligante utilizado en el diseño, efectuadas por el Contratista o el proveedor del mismo.	✓
Aditivos	a. Fecha de muestreo y el procedimiento utilizado.	NA
	b. Nombre de todas las personas que participaron en el muestreo.	NA
	c. Tipo y características del aditivo y su propósito.	NA
	d. Nombre del producto y del fabricante.	NA
	e. Certificado de calidad del fabricante.	NA
	f. Porcentaje (s) de aditivo usado (s) en el Diseño.	NA
	g. Procedimiento de incorporación del aditivo durante los procesos de diseño y de producción.	NA
Diseño de mezcla	a. El diseño debe contener posibilidades de combinación de la materia prima	✓
	b. Resultados de los ensayos del Diseño.	✓
	c. Gráficos respectivos para los parámetros de Diseño	✓
Fórmula de trabajo	a. Agregados: tipos de agregado a utilizar y porcentajes de combinación, tipo de relleno mineral y su porcentaje de dosificación (si aplica).	✓
	b. Contenido de ligante.	✓
	c. Graduación del agregado.	✓
	d. Aditivos: tipo de aditivo (s) y su porcentaje de dosificación (si aplica)	NA

NA: No aplica

✓: Cumplimiento de las especificaciones para el parámetro indicado.

No : Incumplimiento de las especificaciones para el parámetro indicado.

2.2 OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA

Como se indicó anteriormente, las observaciones que se incluyen en este informe 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.

Como parte del proceso de auditoría aplicado en este informe, se analiza parte de la información aplicando los conceptos estadísticos y las herramientas de análisis estadístico establecidas en el Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”, con el propósito de fundamentar la importancia de la aplicación del análisis estadísticas en el control de procesos de producción.

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

Asimismo se analiza la consistencia del diseño de mezcla⁷ vigente en todo el rango de contenido de asfalto, para el periodo de estudio siguiendo el procedimiento aplicado 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.

⁷ Cumplimiento de los requisitos volumétricos establecidos en la normativa contractual.

2.2.1 Sobre la variabilidad estadística de la mezcla asfáltica producida

Observación N° 1: Se determina que existe variabilidad no significativa⁸ en los datos de tamaño granulométrico y en los resultados de contenido de asfalto.

El análisis de los resultados de control y verificación de calidad permite predecir el nivel de calidad alcanzado por un proceso productivo de modo que se pueda llevar un control oportuno del mismo, realizando correcciones y prevenir desviaciones del proceso de producción.

Por esta razón y como parte de la auditoría se realiza una comparación, la cual es un complemento del análisis técnico mediante una evaluación estadística de los resultados de la mezcla asfáltica obtenidos de las muestras tomadas por el personal técnico del LanammeUCR, aplicando el procedimiento de análisis estadístico establecido en la sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”, (ver Anexo 3), con el propósito de demostrar la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en el control de procesos de producción

Los índices de calidad (Q_L y Q_U) se estiman a partir de los resultados de ensayo mostrados en la Tabla 4, para cada una de las mallas de la combinación granulométrica y para el contenido de asfalto. Dicho estimador estadístico refleja el sesgo con respecto al valor meta y la variabilidad existente dentro del conjunto de datos analizados.

Una vez obtenidos los índices de calidad, mediante la aplicación de criterios estadísticos, se determina el porcentaje de los resultados que se encuentran fuera de los límites de especificación aplicando la Tabla 106-1 de la sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”. Se utiliza como referencia los valores indicados en la Disposición Vial AM-01-2001, para cada uno de los parámetros analizados.

⁸ Variabilidad no significativa implica que, estadísticamente, la probabilidad de incumplimiento es baja

Aplicando los valores estadísticos que se enlistan en la Tabla 106-2 de la sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”, y haciendo la consideración de analizar los parámetros como categoría I, se puede definir que para un conjunto de 7 datos, la variabilidad máxima permitida (porcentaje fuera de los límites de especificación) es de un 28% para considerar que el parámetro analizado, y por ende la mezcla asfáltica producida durante el periodo de análisis, posee una calidad aceptable, lo cual implica que el restante 72% del conjunto de datos debería mantenerse dentro de los límites de especificación. En la Tabla 7 se detalla el resultado del análisis realizado.

Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales” y Disposición Vial AM-01-2001

Tabla 7. Índices de calidad y variabilidad de los resultados de la mezcla asfáltica analizada.

Índice de calidad Parámetro	Q _L	Q _U	Variabilidad	
			Fuera de los límites de especificación	Dentro de los límites de especificación
Malla ¾”	--	--	--	--
Malla ½ “	1,74	6,17	1,98%	98,02%
Malla 3/8”	3,51	3,04	0,00%	100,0%
Malla N° 4	1,47	5,63	5,83%	94,17%
Malla N° 8	3,13	2,19	0,00%	100,0%
Malla N° 16	6,35	1,72	2,00%	98,00%
Malla N° 30	8,99	1,81	0,99%	99,01%
Malla N° 50	12,95	7,22	0,00%	100,0%
Malla N° 200	7,56	7,25	0,00%	100,0%
Contenido Asfalto	2,93	3,69	0,00%	100,0%

Del análisis de los resultados que se presentan en la Tabla 7, se concluye que la variabilidad del parámetro de contenido de asfalto es no significativa de acuerdo con la Tabla 106-2 de la sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”, ya que se estima que la variabilidad del parámetro es 0,00%, lo cual implica que la probabilidad de incumplimiento de este parámetro es baja.

De igual manera se observa que la variabilidad de los tamaños granulométricos no excede, en ninguno de los casos, el 6%, lo cual demuestra que estos parámetros

muestran una variabilidad no significativa, lo que permite deducir que la probabilidad de incumplimiento con respecto a las especificaciones contractuales es baja.

2.2.2 Sobre la consistencia del diseño de mezcla

Observación N° 2: Determinación del rango de contenido de asfalto en el cual se cumplen todos los parámetros de diseño definidos en la Disposición Vial AM-01-2001 para la metodología Marshall y requisitos de la mezcla asfáltica.

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-01-2001 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 8 se detallan los valores establecidos en las especificaciones contractuales para cada uno de los parámetros señalados.

Tabla 8. Valores definidos para los parámetros de calidad en la Disposición Vial AM-01-2001.

Parámetro		Especificaciones
Estabilidad		Mínimo 800 kg
Flujo		20 a 40 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 de mezcla.

Los valores establecidos en las especificaciones contractuales para todos los parámetros mencionados deben cumplirse dentro de la totalidad del rango óptimo de contenido de asfalto establecido en el diseño de mezcla analizado en INF. 2931-2009, que en el caso de estudio corresponde a $5,85\% \pm 0,5\%$ (5.35% a 6.35%). 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.

Por esta razón se analiza el comportamiento individual de cada parámetro dentro del rango óptimo de contenido de asfalto y con el propósito de simplificar la comprensión del resultado del análisis se elabora un diagrama para cada parámetro analizado. En el diagrama se detallan dos parámetros, uno es el contenido de asfalto, identificado como “Rango Asfalto”, para el cual se indican los valores de los límites del rango óptimo y se detallan algunos puntos intermedios de contenido de asfalto; el segundo parámetro corresponde al que se está analizando señalando su cumplimiento o incumplimiento con respecto a las especificaciones contractuales dentro del rango óptimo de contenido de asfalto en el cual se produce la mezcla asfáltica. Para indicar los valores de contenido de asfalto en los cuales el parámetro cumple con las especificaciones establecidas, se utiliza el color gris con líneas inclinadas, mientras que se usa el color anaranjado para denotar los valores de contenido de asfalto en los cuales el parámetro ya no cumpliría con los requisitos establecidos en las especificaciones contractuales.

Como resultado del análisis se determina que:

- El parámetro de estabilidad es mayor a 800 kg en todo el rango de contenido de asfalto (inciso a) del apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001). Por lo que se cumple con las especificaciones de este parámetro en todo el rango óptimo de contenido de asfalto.

Rango Asfalto	5,35	5,42	5,47	5,50	5,55	5,59	5,65	5,70	5,75	5,80	5,85	5,90	5,98	6,00	6,05	6,10	6,15	6,21	6,22	6,30	6,35
Estabilidad	Cumple con especificaciones																				

- El límite superior del rango de contenido de asfalto debe reducirse de 6,35% a 6,21% para que el parámetro de flujo no exceda el valor de $40^{1/100}$ cm (inciso b) del apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001).

Rango Asfalto	5,35	5,42	5,47	5,50	5,55	5,59	5,65	5,70	5,75	5,80	5,85	5,90	5,98	6,00	6,05	6,10	6,15	6,21	6,22	6,30	6,35	
Flujo																						

Es decir se incumpliría con los valores límites de este parámetro si utiliza durante la producción un valor de contenido de asfalto mayor o igual a 6,22%.

- El límite inferior del rango de contenido de asfalto debe aumentarse de 5,35% a 5,47% para que los vacíos de la mezcla no sobrepasen el 5% (inciso d) del apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001).

Rango Asfalto	5,35	5,42	5,47	5,50	5,55	5,59	5,65	5,70	5,75	5,80	5,85	5,90	5,98	6,00	6,05	6,10	6,15	6,21	6,22	6,30	6,35	
Vacíos																						

Lo cual indica que se incumpliría con los valores límites de este parámetro si utiliza durante la producción un valor de contenido de asfalto menor o igual a 5,42%.

- El límite inferior del rango de contenido de asfalto debe aumentarse de 5,35% a 5,42% para que el parámetro volumétrico de relación polvo/asfalto no sobrepase el valor de 1,3 (inciso e) del apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001).

Rango Asfalto	5,35	5,42	5,47	5,50	5,55	5,59	5,65	5,70	5,75	5,80	5,85	5,90	5,98	6,00	6,05	6,10	6,15	6,21	6,22	6,30	6,35	
Polvo/Asfalto																						

Con esto se deduce que se incumpliría con los valores límites de este parámetro si se produce mezcla asfáltica con el valor del límite inferior del rango de contenido óptimo de asfalto (5,35%)

- Los vacíos en el agregado mineral son superiores al valor mínimo de 14% en todo el rango de contenido de asfalto (inciso f) del apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001).

Rango Asfalto	5,35	5,42	5,47	5,50	5,55	5,59	5,65	5,70	5,75	5,80	5,85	5,90	5,98	6,00	6,05	6,10	6,15	6,21	6,22	6,30	6,35	
VMA	[Barra hachurada]																					

En resumen este parámetro se cumple en la totalidad del rango óptimo de contenido de asfalto.

- En cuanto al parámetro de VFA (inciso i) del apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001) se obtiene que:
 - Si la mezcla asfáltica se va a utilizar en una ruta de tránsito liviano (inferior a 0,3 millones de ejes equivalentes) el límite superior del rango de contenido de asfalto debe reducirse de 6,35% a 5,98% para que el valor del VFA no sea superior a 75%. En otras palabras se incumpliría con los valores especificados para este parámetro si se utiliza durante la producción un valor de contenido de asfalto mayor o igual a 6,00%.
 - Si la mezcla asfáltica se va a utilizar en una ruta de medio (inferior a 3 millones de ejes equivalentes) el límite superior del rango de contenido de asfalto debe reducirse de 6,35% a 6,22% para que el valor del VFA no exceda 78%. Por lo que si se aplica durante la producción un valor mayor o igual a 6,30% se incumple con los requisitos establecidos en las especificaciones contractuales para este parámetro.
 - Si la mezcla asfáltica se va a utilizar en una ruta de tránsito pesado (superior o igual a 3 millones de ejes equivalentes) el límite inferior debe aumentarse de 5,35% a 5,59% para que el valor del VFA no sea inferior a 70%. Lo cual indica que si se produce mezcla asfáltica con un contenido de asfalto menor o igual a 5,55% se incumple con las especificaciones definidas para este parámetro.

Rango Asfalto	5,35	5,42	5,47	5,50	5,55	5,59	5,65	5,70	5,75	5,80	5,85	5,90	5,98	6,00	6,05	6,10	6,15	6,21	6,22	6,30	6,35	
VFA: <0,3 mill	[Barra hachurada]													[Barra naranja]								
VFA: 0,3-3 mill	[Barra hachurada]																			[Barra naranja]		
VFA: >3 mill	[Barra naranja]				[Barra hachurada]																	

En la Tabla 9 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.

Tabla 9. Análisis del rango efectivo de contenido de asfalto para el informe INF. 2931-2009

Parámetro	Límites de especificación		Contenido de asfalto (5,35% a 6,35%)	
			Porcentaje de cumplimiento	
			Mínimo	Máximo
Estabilidad, kg	Mayor a 800		5,35	6,35
Flujo, 1/100 cm	20	40	2,75	6,21
Contenido de vacíos, %	5	3	5,47	6,35
Relación Polvo/asfalto	1,3	0,6	5,42	6,35
VMA	Mayor a 14		5,35	6,35
VFA (inferior a 0,3 millones)	70	80	5,59	6,21 ^a
VFA (de 0,3 a 3 millones)	65	78	5,47	6,21 ^b
VFA (superior a 3 millones)	65	75	5,47	5,98 ^c
Rango efectivo de contenido de asfalto (ver Figura 3)			5,47	6,21

^a Diseño de mezcla es aplicable a condiciones de tránsito liviano en el rango de 5,59% a 6,21%

^b Diseño de mezcla es aplicable a condiciones de tránsito medio en el rango de de 5,47% a 6,21%

^c Diseño de mezcla es aplicable a condiciones de tránsito pesado en el rango de de 5,47% a 5,98%

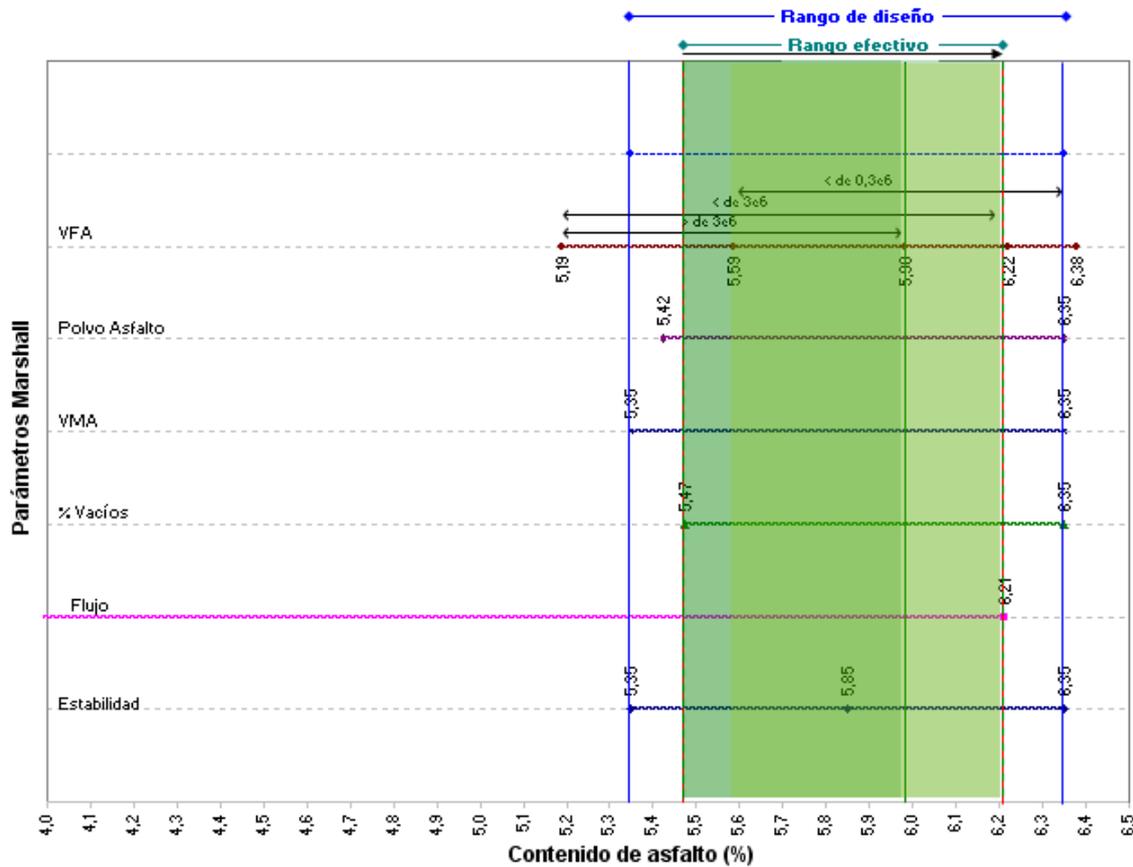


Figura 3. Análisis gráfico del rango efectivo de contenido de asfalto para el informe INF. 2931-2009

En la Tabla 9 y en la Figura 3 se observa que, sin considerar el parámetro de VFA, 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 y relación polvo/asfalto, se reduce en un 26%. Esto implica que habría que reducir la variación permitida de $\pm 0,5\%$ a $\pm 0,37\%$, aproximadamente.

Si consideramos las condiciones de tránsito liviano y pesado, el rango de contenido efectivo de asfalto se reduce más. En caso de que la mezcla asfáltica se utiliza en una ruta de tránsito liviano el límite inferior del rango de contenido de asfalto se debería aumentar del 5,47% a 5,59%. El límite superior se mantendría en 6,21%. Bajo estas condiciones el rango de contenido de asfalto se restringiría en un 38%, reduciendo la variabilidad permitida de $\pm 0,5\%$ a $\pm 0,31\%$ para que se

cumplan los parámetros de estabilidad, flujo, vacíos en la mezcla, VMA, relación polvo/asfalto y VFA.

Para el caso en que la mezcla asfáltica se utilice en una ruta de tránsito pesado el rango de contenido de asfalto debería reducir el límite superior de 6,21% a 5,98%, manteniendo el límite inferior en 5,47% para que se cumplan los parámetros de estabilidad, flujo, vacíos en la mezcla, VMA, relación polvo/asfalto y VFA. Esta situación restringiría el rango de contenido de asfalto en un 49%, permitiendo una variabilidad sólo de $\pm 0,26\%$.

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-01-2001.

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 flujo, contenido de vacíos de la mezcla, relación polvo asfalto y vacíos llenos de asfalto (VFA), para este caso, lo cual no asegura la calidad de la mezcla asfáltica producida.

El incumplimiento de los parámetros VFA y relación polvo/asfalto 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 dichos 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.

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, para mencionar algunas posibles causas.

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

3. CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados de ensayo de laboratorio obtenidos en las muestras tomadas de mezcla asfáltica y del análisis del informe del diseño de mezcla, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

Sobre la mezcla asfáltica producida

- a. Se observa que todos los resultados del parámetro de contenido de asfalto, de las muestras analizadas, reportados en el Informe I-0583-10 se encuentran dentro de los límites definidos por el contenido óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$, tal como se establece en la Disposición Vial AM-01-2001, cumpliendo con lo definido en la especificación contractual.
- b. Se evidencia que solo los resultados de ensayo para los tamaños granulométricos N° 16 y N° 30, correspondientes para la muestra 1206-10, exceden levemente el límite superior de especificación, definido a partir de la Tabla 1 de la Disposición Vial AM-01-2001 para el tamaño nominal de diseño (12,5 mm), incumpliendo con lo establecido en las especificaciones contractuales.

Sobre el diseño de mezcla

- c. Se determina que el rango de diseño está fuera de los límites de especificación establecidos en la Tabla 1 de la Disposición Vial AM-01-2001, para los tamaños granulométricos de 1/2" y N° 4 con respecto al límite inferior de especificación y la malla N° 30 para el límite superior de especificación, lo cual incumple las especificaciones contractuales.

Sobre el cumplimiento contractual del informe de diseño de mezcla

- d. El contenido documental del informe de diseño de mezcla INF. 2931-2009 vigente para el periodo de estudio contempla todos los requerimientos que se especifican en la Disposición Vial MN-01-2001.

Sobre la variabilidad estadística de la mezcla asfáltica producida

- e. La variabilidad estadística del parámetro de contenido de asfalto es no significativa (presenta una probabilidad estadística de incumplimiento baja) para el tamaño de muestra analizado.

- f. Se determina estadísticamente que la variabilidad es no significativa para los tamaños granulométricos, lo cual implica que la probabilidad de incumplimiento de las especificaciones contractuales como producto de la variabilidad del proceso es baja.

Sobre la consistencia del diseño de mezcla

- g. Se determina que existe un riesgo potencial de incumplimiento en los extremos del rango de contenido de asfalto de diseño (5,35% a 6,35%), para los parámetros de flujo, contenido de vacíos en la mezcla asfáltica (%vacíos), vacíos llenos de asfalto (VFA) y la relación polvo/asfalto en donde no se cumplen integralmente con los requisitos establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001. Lo cual reduce a un rango efectivo de asfalto, para cumplimiento, a aproximadamente entre 5.48% a 6.22% (óptimo \pm 0.37%).
- h. Los parámetros de estabilidad y vacíos en el agregado mineral (VMA) cumplen con los requisitos establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001 en todo el rango de contenido de asfalto propuesto en el diseño de mezcla (5,35% a 6,35%).

4. RECOMENDACIONES

A continuación se listan algunas recomendaciones para que sean consideradas por el MOPT y el Consejo Nacional de Concesiones, con el propósito de que se definan e implementen soluciones integrales a éste y futuros proyectos de conservación vial.

- a. Aplicar herramientas estadísticas para monitorear y controlar la variabilidad de los parámetros de calidad que se detallan en este informe y de los parámetros de aceptación de la mezcla asfáltica que influyen en la calidad de la mezcla asfáltica que se produce y se utiliza en las labores de conservación vial.
- b. Incluir dentro del procedimiento de aprobación de los diseños de mezcla el análisis de los aspectos técnicos establecidos por la metodología de diseño de mezcla que se esté aplicando, así como de los requisitos contractuales específicos del proyecto, para identificar y prevenir el riesgo potencial de incumplimientos que afectan la calidad de la mezcla asfáltica que se está colocando.
- c. Establecer un procedimiento de análisis del tránsito que circula por las rutas en las que se colocará la mezcla asfáltica para que el valor del parámetro vacíos llenos de asfalto (VFA) que se indica en el diseño de mezcla propuesto este acorde con las condiciones reales de las vías en las que se colocará la mezcla asfáltica.
- d. Analizar 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.

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, MSc.
Coordinador de PITRA
LanammeUCR

Firmas del equipo auditor

Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng.
Coordinadora de Auditorías Técnicas.
LanammeUCR

Ing. Ellen Rodríguez Castro
Auditora LanammeUCR

Ing. Víctor Hugo Cervantes Calvo
Auditor LanammeUCR

Visto Bueno De Legalidad

Lic. Miguel Chacón Alvarado
Asesor Legal Externo
Auditorías Técnicas LanammeUCR

ANEXOS

Anexo 1. Gráficos de los resultados de los ensayos de granulometría realizados a las muestras de mezcla asfáltica

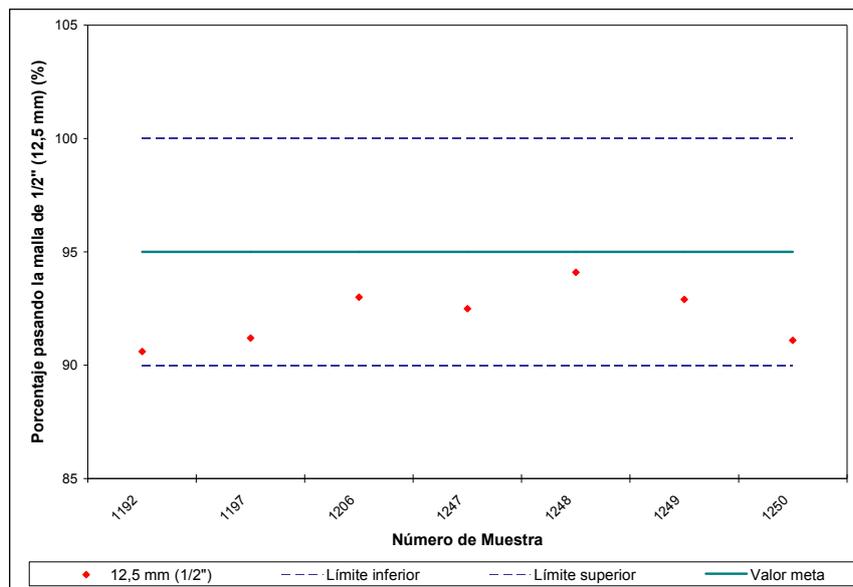


Figura 4. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla de 1/2'' (12,5 mm)

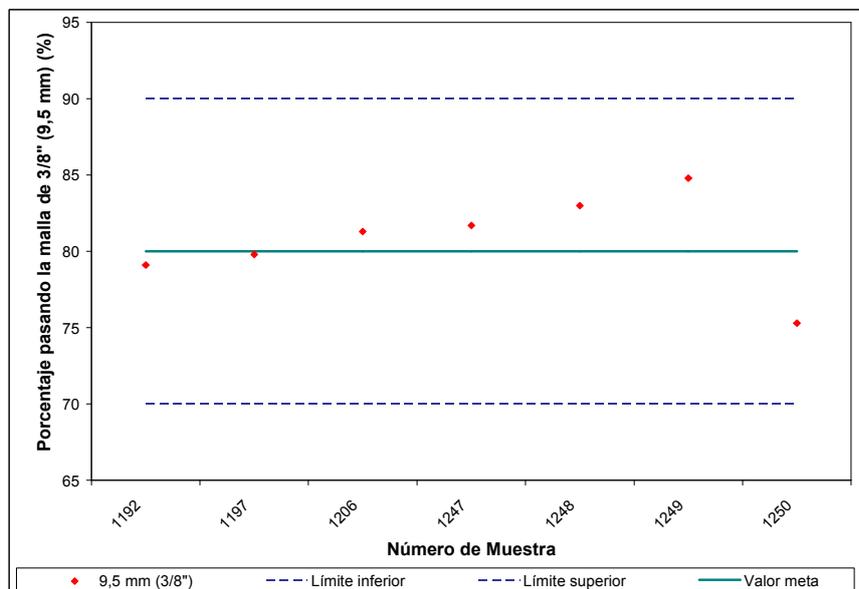


Figura 5. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla de 3/8'' (9,35 mm)

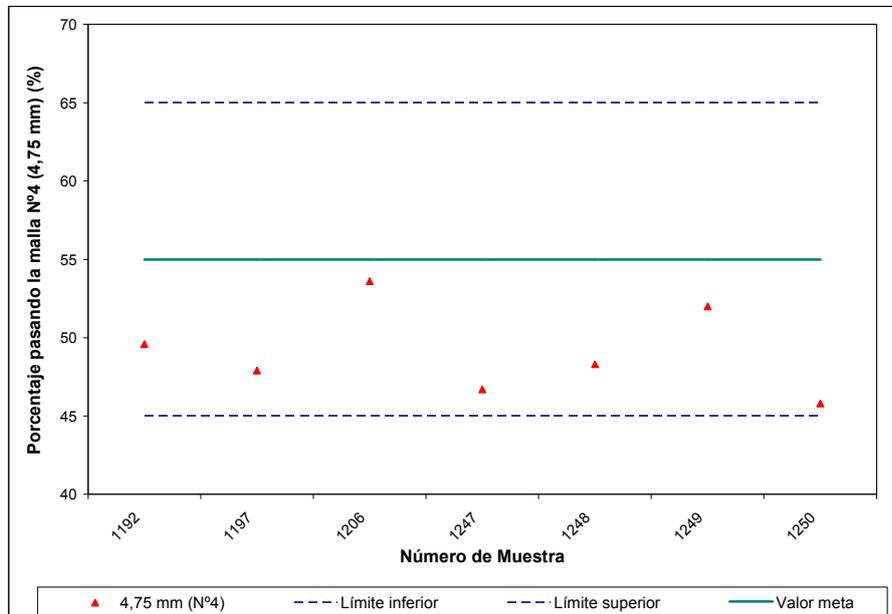


Figura 6. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 4 (4,75 mm)

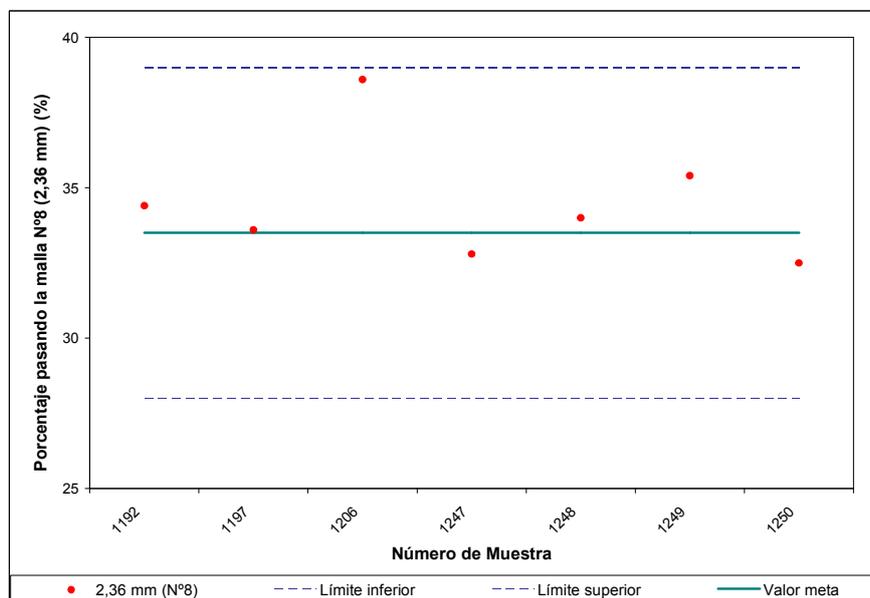


Figura 7. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 8 (2,36 mm)

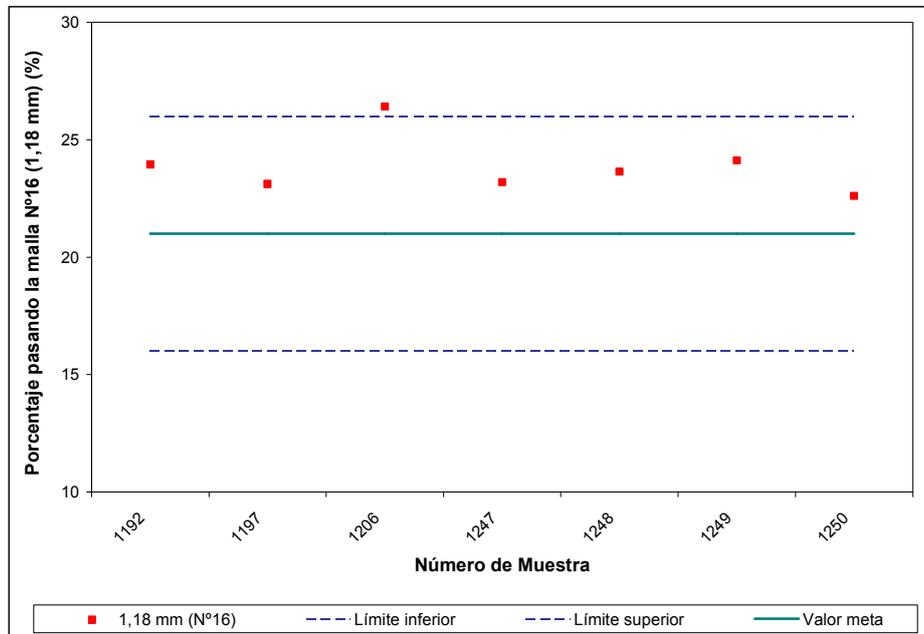


Figura 8. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 16 (1,18 mm)

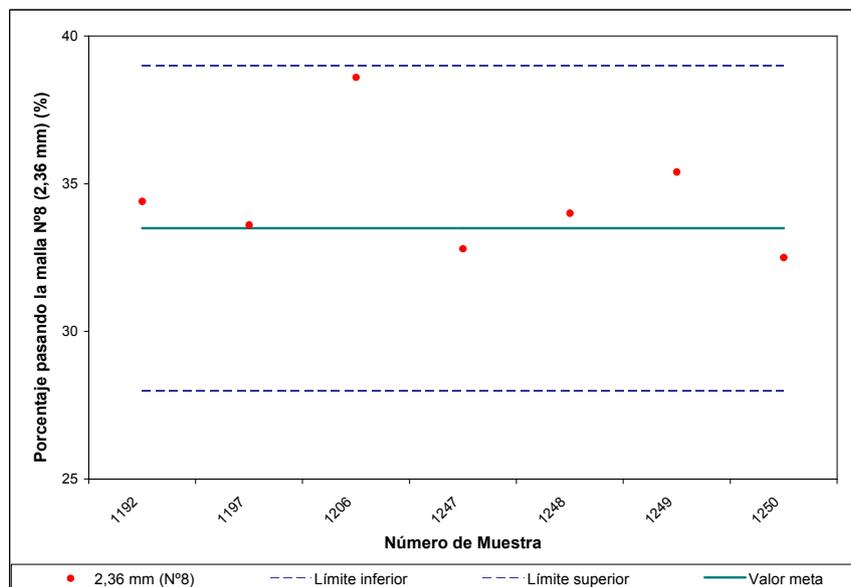


Figura 9. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 30 (600 μm)

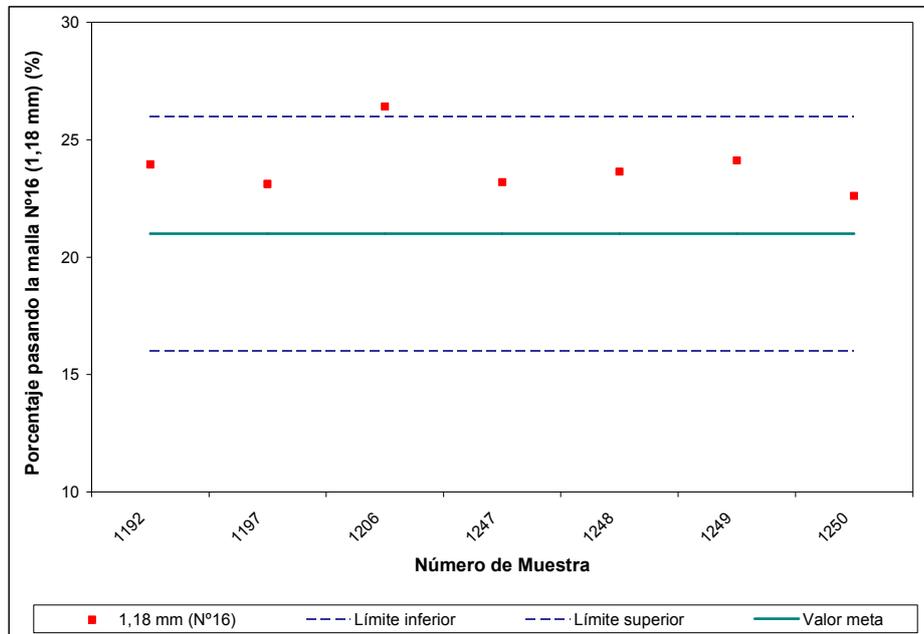


Figura 10. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 50 (300 μ m)

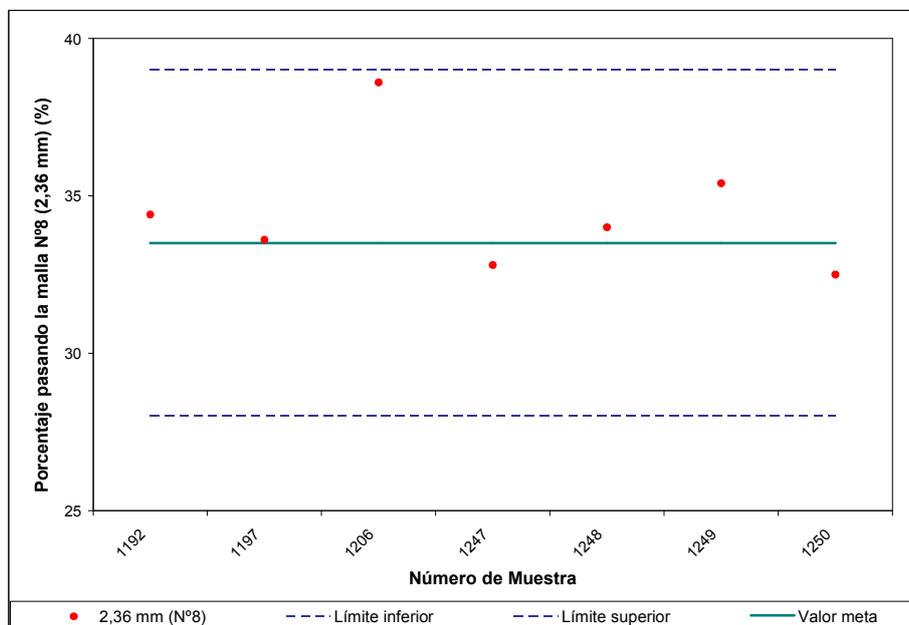


Figura 11. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 200 (75 μ m)

Anexo 2. Informe de Ensayo I-0583-10

**Anexo 3. Sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA
“Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”**