

INFORME DE
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-146-10

**Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica
en caliente producida y colocada en el proyecto:
“Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 613,
Sección Sabalito – Las Mellizas”**

Periodo: 27 de julio al 20 de agosto de 2010

Diciembre 2010

TABLA DE CONTENIDO

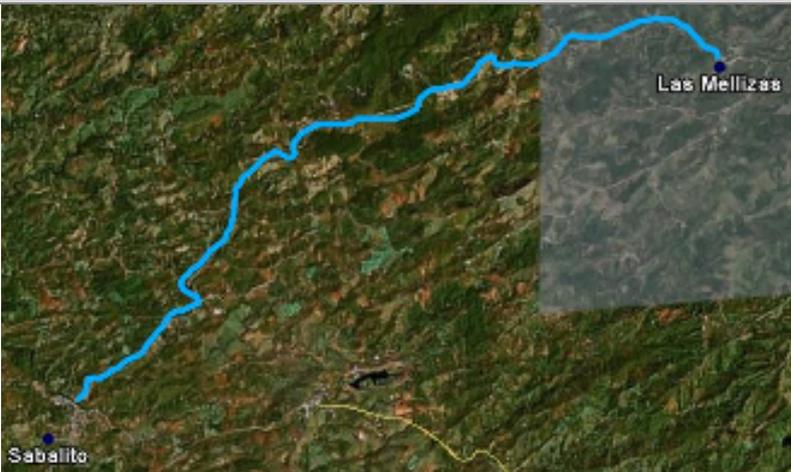
	Página
1. FUNDAMENTACIÓN	9
2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	9
2.1 OBJETIVOS DEL INFORME	10
2.2 ALCANCE DEL INFORME.....	10
2.3 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO VIAL	10
2.3.1 <i>Descripción del proyecto</i>	10
2.3.2 <i>Prevalencia de documentos</i>	11
2.4 ANTECEDENTES	13
2.5 METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	15
3. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	20
3.1 HALLAZGOS DE LA AUDITORÍA.....	20
3.1.1 <i>Sobre la mezcla asfáltica producida</i>	21
3.1.2 <i>Sobre la mezcla asfáltica colocada</i>	26
3.1.3 <i>Sobre el diseño de la mezcla asfáltica</i>	29
3.2 OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA	32
3.2.1 <i>Sobre la variabilidad estadística de la mezcla asfáltica producida</i>	32
3.2.2 <i>Sobre la variabilidad estadística del espesor de la mezcla asfáltica colocada</i>	35
3.2.3 <i>Sobre la consistencia del diseño de mezcla vigente durante el periodo de estudio</i>	36
4. CONCLUSIONES	43
5. RECOMENDACIONES	45
ANEXOS	47
Anexo 1. Gráficos de los resultados de los ensayos de granulometría realizados a las muestras de mezcla asfáltica.....	48
Anexo 2. Informe de Ensayo I-0951-10	51
Anexo 3. Informes de Ensayo I-0986-10 e I-1005-10	52
Anexo 4. Sección 107.05 “Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor de trabajo)” del “Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010”	53

**RESUMEN EJECUTIVO
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-146-10**

**Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica
en caliente producida y colocada en el proyecto:
“Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 613,
Sección Sabalito – Las Mellizas”**

Periodo: 27 de julio al 20 de agosto de 2010

Diciembre 2010

Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica en caliente producida y colocada Proyecto: “Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 613, Sección Sabalito – Las Mellizas Periodo: 27 de julio al 20 de agosto de 2010	
Informe de Auditoría Técnica Externa LM-AT-146-10	
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	
El objetivo de este informe es evaluar mediante ensayos de laboratorio y valorar estadísticamente algunas de las características más relevantes de la mezcla asfáltica que se produce y coloca en la carpeta asfáltica de la Ruta N° 613, sección Sabalito-Las Mellizas, a saber: contenido de asfalto, graduación de la mezcla y núcleos de carpeta colocada para verificación de espesor, de conformidad con lo que se establece en las especificaciones contractuales y el diseño estructural de pavimentos.	
Alcance	
<p>Evaluar los parámetros de granulometría y contenido de asfalto de las muestras de mezcla asfáltica en caliente tomadas por el 27 de julio al 20 de agosto. Además se determina el espesor final de la carpeta asfáltica colocada, mediante núcleos extraídos de la Sección mencionada.</p> <p>En adición, se realiza una 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 ubicada en Sabalito identificado como INF.564-2010</p>	
Localización	
	Proyecto de Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 613, Sección Sabalito – Las Mellizas <p>Actividades realizadas por la auditoría:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de muestras de mezcla asfáltica producida • Análisis de espesor de la carpeta asfáltica colocada

Hallazgos	
Descripción	Fundamento normativo
<p><i>Contenido de asfalto de las muestras analizadas:</i> Se observa que 3 de las 15 muestras analizadas presentan valores de contenido de asfalto fuera del rango óptimo $\pm 0,5\%$ (4,9 %- 5,9 %.) establecido en el diseño de mezcla vigente identificado como INF.564-2010. (ver páginas 20 a 21 del informe).</p>	Apartado 401.06 "Requisitos para la mezcla asfáltica" de la Disposición Vial AM-01-2001
<p><i>Granulometría de las muestras analizadas:</i> Se detectan dos incumplimientos para la malla 3/8", N° 4, N° 30 y N° 200 y uno para las mallas N° 8 y N° 16. En todos los incumplimientos detectados, los resultados exceden el límite superior de especificación. (ver páginas 23 y 24 del informe)</p>	Tabla 1 Apartado 401.04.02.01 Graduación de la combinación de agregados" de la Disposición Vial AM 01-2001.
<p><i>Espesor de la carpeta asfáltica colocada:</i> Se comprobó que 5 de los 47 núcleos extraídos tienen un espesor menor al espesor establecido de 5 cm. Además se determinó que 12 de 47 datos tienen valores de espesor mayor o igual a 7 cm. (ver páginas 25 a 28 del informe)</p>	Memoria de cálculo Rediseño de estructura de pavimentos proyecto Mejoramiento Sabalito-Las Mellizas, enviado el 17 de mayo de 2010 mediante oficio DII01-10-2010.
<p><i>Tolerancia del diseño de mezcla:</i> Se evidenció que el porcentaje de agregado que pasa las mallas de 1/2" y N° 4, se encuentran debajo del límite inferior de especificación. Y en el caso de la malla N° 30 el rango de diseño supera el límite superior de especificación. (ver páginas 28 a 30 del informe)</p>	Tabla 1 Apartado 401.04.02.01 Graduación de la combinación de agregados" de la Disposición Vial AM 01 2001.
Observaciones	
Descripción	Norma técnica de referencia
<p><i>La variabilidad estadística de la granulometría de diseño es no significativa</i> La variabilidad de los tamaños granulométricos N° 30 y N° 200 es mayor a la aceptable, ya que se estima que la variabilidad de dichos parámetro es de un 18,13% y 19,72%, respectivamente, mayor al 16,67% establecido en la tabla 107-2 "Factor de calidad", lo cual aumenta la probabilidad de que se incumpla con las especificaciones contractuales. (ver páginas 31 a 33 del informe)</p>	Sección 107.05 "Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor de trabajo)" del "Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010
<p><i>La variabilidad estadística de contenido de asfalto de la mezcla es significativa</i> La variabilidad del parámetro de contenido de asfalto es mayor a la aceptable, ya que se estima que la variabilidad de dicho parámetro es de un 26,08%, mayor al 16,67% establecido en la tabla 107-2 "Factor de calidad", lo cual aumenta la probabilidad de que se incumpla con las especificaciones contractuales. (ver páginas 31 a 33 del informe)</p>	Sección 107.05 "Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor de trabajo)" del "Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010

Observaciones	
Descripción	Norma técnica de referencia
<p><i>La variabilidad estadística del espesor de la carpeta asfáltica es significativa</i></p> <p>El espesor de los núcleos medidos en sitio durante el proceso de auditoría técnica, presentan un porcentaje de incumplimiento de 9,85%, que es mayor al 8,02% establecido en la tabla 107-2 "Factor de calidad", lo cual aumenta la probabilidad de que se incumpla con las especificaciones contractuales. (ver páginas 35 y 36 del informe)</p>	<p>Sección 107.05 "Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor de trabajo)" del "Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010</p>
<p><i>Consistencia del diseño de mezcla asfáltica INF 564-2010</i></p> <p>Como resultado del 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 de las especificaciones contractuales para los parámetros de contenido de vacíos de la mezcla y vacíos llenos de asfalto (VFA), lo cual no asegura la calidad de la mezcla asfáltica producida. (ver páginas 36 a 42 del informe)</p>	<p>Apartado 401.06 "Requisitos para la mezcla asfáltica" de la Disposición Vial AM-01-2001.</p>

INFORME DE
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-146-10

**Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica
en caliente producida y colocada en el proyecto:
“Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 613,
Sección Sabalito – Las Mellizas”**

Periodo: 27 de julio al 20 de agosto de 2010

Diciembre 2010

INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA

Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica en caliente producida y colocada
Proyecto: “Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 613, Sección Sabalito – Las Mellizas
Periodo: 27 de julio al 20 de agosto de 2010

Departamento encargado del proyecto: Dirección de Obras

Presupuesto original: ₡5.955.941.747,00

Presupuesto aprobado: ₡6.521.011.505,00

Licitación Pública: 2008LN-00001-DI

Plazo de ejecución: 320 días efectivos

Longitud de proyecto: 22,81 km

Área auditada:

- Mezcla asfáltica producida para capa de asfáltica producida durante el periodo del 27 de julio al 20 de agosto de 2010
- Carpeta asfáltica colocada

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:

- Análisis de muestras de mezcla asfáltica en caliente producida durante el periodo del 27 de julio al 20 de agosto de 2010, para la evaluación de algunos parámetros de calidad. Además medición del espesor final de la carpeta asfáltica a través de núcleos extraídos de la carpeta asfáltica colocada en el proyecto

Referencias:

- Periodo de toma de muestras de mezcla asfáltica en caliente: 27 de julio de 2010 al 20 de agosto de 2010.
- Periodo de extracción de núcleos: 10 y 11 de agosto y 7 de septiembre de 2010
- Diseño de mezcla vigente, informe con identificación N° 564-2010 (aplicado en la planta de producción ubicada en Sabalito, Puntarenas)
- Informes de resultados de ensayo I-0951-10 entregado por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR a la auditoría técnica el 28 de septiembre de 2010
- Informes de resultados de ensayo I-0986-10 y el I-1005-10 entregado por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR a la auditoría técnica el 6 y 7 de octubre de 2010, respectivamente
- Normativa contractual: Cartel de licitación y Contrato de Proyecto, Disposición Vial AM-01-2001 de normas y Diseño estructural de la carretera y documentos que forman parte integral del contrato.

1. FUNDAMENTACIÓN

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 de 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)

2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

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

2.1 OBJETIVOS DEL INFORME

El objetivo de este informe es evaluar mediante ensayos de laboratorio y valorar estadísticamente algunas de las características más relevantes de la mezcla asfáltica que se produce y coloca en la carpeta asfáltica de la Ruta N° 613, sección Sabalito-Las Mellizas, a saber: contenido de asfalto, graduación de la mezcla y núcleos de carpeta colocada para verificación de espesor, de conformidad con lo que se establece en las especificaciones contractuales y el diseño estructural de pavimentos.

2.2 ALCANCE DEL INFORME

El estudio que realiza esta auditoría consiste en el análisis de muestras de mezcla asfáltica en caliente producida para la evaluación de los parámetros de granulometría y contenido de asfalto.

Además se determina el espesor final de la carpeta asfáltica colocada, mediante núcleos extraídos de la Sección mencionada.

En adición se realiza un 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 ubicada en Sabalito.

2.3 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO VIAL

2.3.1 Descripción del proyecto

El proyecto inicia en la población de Sabalito y finaliza en la población de Las Mellizas, con una longitud total de 22,81 kilómetros, aproximadamente. Las labores en el proyecto iniciaron el 10 de diciembre de 2008 con un plazo de ejecución de 320 días naturales. El propósito general del proyecto es realizar una mejora al camino existente antes del inicio de las obras, el cual presentaba una superficie de ruedo con materiales granulares expuestos.

De acuerdo con las memorias de cálculo del diseño estructural de la vía adjuntas a la Orden de Modificación N°1, enviado a la Unidad de Auditoría Técnica por el Ing. Johny Bart el 17 de mayo de 2010 mediante el oficio DII-01-10-1020, el paquete estructural del pavimento consistía en 20 cm de préstamo seleccionado, 30 cm de subbase granular, 20 cm de base estabilizada BE-25 y un espesor de carpeta asfáltica de 5 cm.

El monto original que se estableció en el contrato era de ¢5.955.941.747,00. Después de iniciada la obra se aumentó la cantidad mencionada en ¢565.069.758,00 mediante la Orden de Modificación N°1. Por lo tanto el monto total del contrato asciende a ¢6.521.011.452,00.

2.3.2 Prevalencia de documentos

A continuación se enlista la documentación del ordenamiento jurídico aplicable y que forma parte integral del contrato:

- a) El Cartel de Licitación, sus modificaciones y aclaraciones.
- b) La oferta del adjudicatario y cualquier manifestación que este realizare con posterioridad a la apertura de las ofertas y que fuere aceptada por la Administración.
- c) El acto de adjudicación de la Licitación.
- d) Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes (CR-77)¹
- e) Manual de Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica (MC-83)
- f) Disposiciones para la Construcción y la Conservación Vial emitidas en octubre de 2002 que se detalla en la Tabla 1:

¹ La Disposición Vial AM-01-2001 actualiza las secciones 400.01 al 401.09 del capítulo 400 del CR -77.

Tabla 1. Disposiciones vigentes para la construcción y la conservación vial

Identificación	Tema	Subtema
AD-01-2001	Administración	Presentación del tomo de disposiciones para la construcción y conservación vial
AD-02-2001		Inscripción de consultores de calidad
AJ-01-2001	Asuntos jurídicos	Regulaciones en la ejecución de contratos de obra pública
AJ-02-2001		Uso del cuaderno de bitácora
AJ-03-2001		Procedimiento legal del finiquito de obra
AM-01-2001	Actualización de manuales de la administración	CR-77 capítulo 400, sección 400, del 401.01 al 401.09 inclusive
AM-02-2001		MC-83 capítulo 10, sección 10.7, página 10-17
AM-03-2001		CR-77 capítulo 400, sección 401.12
AM-04-2001		Procedimiento para el control de calidad del cemento asfáltico durante el trasiego y manipulación en PMAC
CF-01-2001	Costos, formas de pago	Renglón de pago 109.04
GA-01-2001	Gestión ambiental	Introducción a la gestión ambiental
GA-02-2001		En instalaciones provisionales y salud ocupacional
GA-03-2001		En fuentes de materiales y plantas trituradoras
GA-04-2001		En el manejo de desechos sólidos
GA-05-2001		En la producción de mezcla asfáltica
MN-01-2001	Materiales, normas, diseño y especificaciones	Diseño y fórmula de mezclas para el trabajo
MN-02-2001		Renglones de pago de conservación vial
MN-03-2001		Normativa de cementos asfálticos
MN-04-2001		Ensayo de estabilidad y flujo Marshall
PP-01-2001	Planeamiento, programas, informes	Programas de trabajo
PP-02-2001		Informe gerencial mensual
SC-01-2001	Supervisión, calidad	Dispositivos de seguridad en obras viales
SC-02-2001		Constancias de calidad
SC-03-2001		Aseguramiento de la calidad
GL-01-2001	Glosario	Glosario

2.4 ANTECEDENTES

La Unidad de Auditoría Técnica inicia el proceso de evaluación de la calidad de la mezcla asfáltica producida y colocada el día 29 de abril de 2010 mediante el oficio LM-AT-070-10, en el cual se comunica se iniciarán las visitas a las planta de producción y al proyecto para recolectar muestras de mezcla asfáltica.

El 10 de mayo de 2010 la Unidad de Auditoría Técnica recibe el oficio DO-I-10-0557 indicando el horario de producción y se adjunta el diseño de mezcla identificado como INF 321-2010.

La primera visita se planea para la semana del 17 de mayo de 2010, sin embargo el día 14 de mayo se nos informa que la planta no estaba ensamblada y que durante la semana en que se planteó la visita se iban a iniciar las pruebas, por lo que la gira se suspende.

El 14 de junio de 2010 se contacta al personal del laboratorio de verificación del proyecto, al encargado de la planta y al inspector de campo para confirmar la operación de la planta, quienes indican que la planta esta en reparación por lo que se traslada la visita a la semana del 21 al 25 de junio de 2010

Durante la visita efectuada en la semana del 21 al 25 de junio de 2010, las condiciones climáticas eran desfavorables para la producción, además la ingeniera del proyecto indicó que la planta continuaba con desperfectos, por lo que no se pudieron tomar muestras de la mezcla asfáltica. El personal de la planta comunica al equipo auditor que el diseño de mezcla vigente corresponde al INF. 321-2010. Se toman muestras de los apilamientos de agregados.

Se visita nuevamente el proyecto la semana del 12 de julio de 2010, pero la planta no estaba produciendo. Se indica al equipo auditor que se cambia el diseño de mezcla y que la producción iniciará cuando se tenga el nuevo diseño de mezcla. Se informa que el cambio de diseño se debe a que se cambia la fuente de agregados, por lo que se desechan las muestras de agregado tomadas por la auditoría durante la visita realizada en la semana del 21 de junio.

Se visita nuevamente el proyecto del 26 de julio al 1º de agosto de 2010. El día 27 de julio se toma la primera muestra de mezcla asfáltica, también se toman muestras los días 29 y 30 de julio y el 1º de agosto.

El día 4 de agosto se solicita el nuevo diseño de mezcla asfáltica mediante el oficio LM-AT-125-10. El nuevo informe del diseño de mezcla se identifica como INF.564-2010 elaborado en el mes de julio de 2010.

Se visita el proyecto nuevamente del 9 al 13 de agosto de 2010, durante esos días se toman muestras los días 10, 11 y 12 de agosto. El 13 de agosto la planta no opera. Además se extraen núcleos de la carpeta asfáltica colocada hasta la fecha. (Estacionamiento 8+395 hasta el estacionamiento 25+775)

El 18 de agosto se vuelve a visitar la planta. El 19 de agosto la planta no opera, y el día 20 de agosto se toma la última muestra de mezcla asfáltica.

El 7 de septiembre se extraen núcleos de la carpeta asfáltica colocada después del 12 de agosto de 2010 (Estacionamiento 26+150 hasta el estacionamiento 30+960).

En la Figura 1 se resumen el proceso detallado anteriormente.

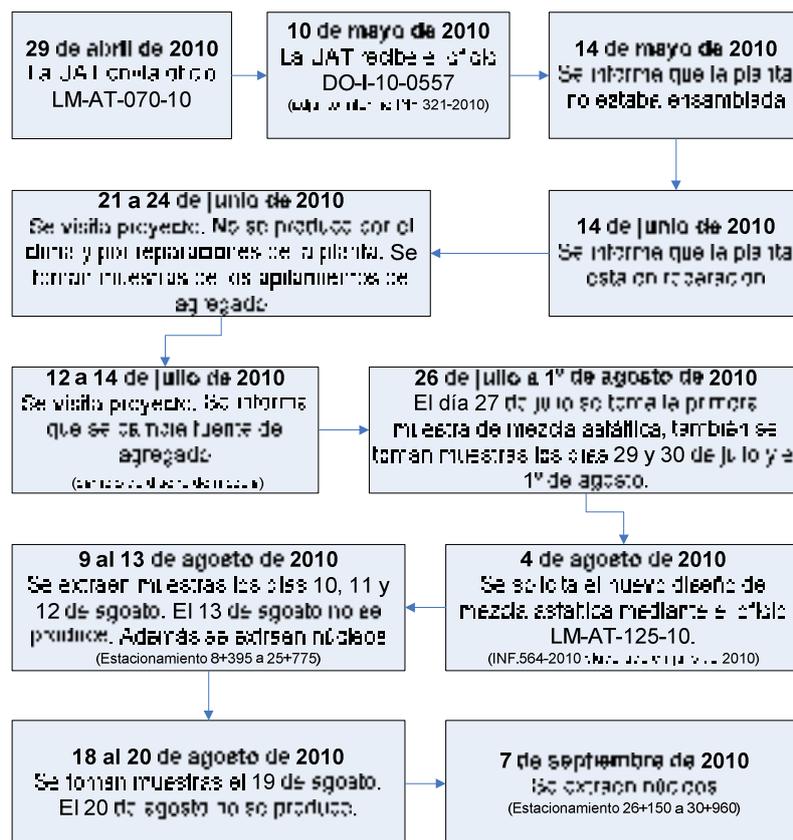


Figura 1. Cronología de las visitas realizadas al proyecto para la toma de muestras de mezcla asfáltica y para la extracción de núcleos de la carpeta asfáltica colocada.

2.5 METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

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

Durante el proceso de auditoría realizado por la Auditoría Técnica del LanammeUCR se tomaron muestras de la mezcla asfáltica en caliente producida y colocada en la carpeta asfáltica de la ruta por un periodo definido². Las muestras fueron tomadas de manera aleatoria tanto en la planta de producción, así como en el frente de trabajo durante el proceso de colocación.

En la Tabla 2 se presenta, cronológicamente, el detalle de las muestras de mezcla asfáltica en caliente tomadas y se especifica el estacionamiento correspondiente al punto donde se tomó la muestra. En la Figura 2 se detalla el tramo del proyecto donde se colocó la mezcla asfáltica producida durante el periodo de estudio.

Tabla 2. Detalle de los estacionamientos en los cuales se tomaron las muestras de mezcla asfáltica en caliente.

Muestra	Fecha	Estacionamiento
1 1789 -10	27/07/2010	Planta
2 1790 -10	27/07/2010	Planta
3 1791 -10	29/07/2010	21+260
4 1792 -10	29/07/2010	21+800
5 1793 -10	30/07/2010	21+450
6 1794 -10	30/07/2010	22+100
7 1795 -10	01/08/2010	22+500
8 1796 -10	01/08/2010	23+400
9 1877 -10	10/08/2010	24+750
10 1878 -10	10/08/2010	Planta
11 1879 -10	11/08/2010	25+660
12 1880 -10	11/08/2010	25+740
13 1881 -10	12/08/2010	Planta
14 1882 -10	12/08/2010	27+029
15 1971 -10	20/08/2010	28+120

² Los días 27, 29 y 30 de julio y 01, 10, 11, 12 y 20 de agosto de 2010 se obtuvo muestra de la producción de mezcla asfáltica.



Figura 2. Sección del proyecto en la que se colocó mezcla asfáltica de la cual se tomó muestras

Algunas de las muestras se obtuvieron de la extendidora de mezcla y cuarteada en sitio por el personal técnico³ del Laboratorio de Campo del LanammeUCR. Las otras muestras se tomaron en la vagoneta después de ser cargada en la planta de producción, aplicando la correspondiente técnica de muestreo.

En la mayoría de los casos se tomó dos muestras diarias, la muestra inicial durante las primeras 500 toneladas de producción y la segunda después de que la planta hubiera producido 500 toneladas.

En total se tomaron 15 muestras de la mezcla asfáltica producida, las cuales fueron posteriormente ensayadas por el Laboratorio de Mezclas Bituminosas del LanammeUCR. Los ensayos realizados consistieron en determinar el valor del

³ El laboratorio de campo del LanammeUCR es el encargado de la toma de muestras de materiales de construcción usados en obra vial y civil y de realizar los ensayos en campo.

contenido de asfalto (ASTM D-6307⁴/ASTM-D-95⁵) y la composición granulométrica (ASTM D-5444⁶) de cada una de las muestras.

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

El informe de diseño de mezcla vigente para la producción de la mezcla asfáltica en caliente corresponde al informe N° 564-2010, enviado mediante el oficio de DO-I-10-0578 del 10 de mayo de 2010. En la Tabla 3 se resumen los parámetros generales definidos en el diseño de mezcla asfáltica.

Tabla 3. Parámetros generales del diseño de mezcla asfáltica según informe N° 564-2010 emitido por LGC Ingeniería de Pavimentos S.A.

Parámetro	Valor
Contenido óptimo de asfalto	5,4 % (sobre el peso de mezcla)
Proporción de agregados	56 % (Fracción de finos) 33 % (Fracción de intermedios) 11 % (Fracción de gruesos)
Granulometría de diseño	12,5 mm

Además de la toma de muestras de mezcla asfáltica en caliente, se realizó una extracción de núcleos de la carpeta asfáltica. La extracción de los núcleos la realizó el personal técnico del Laboratorio de Campo del LanammeUCR, encargado del muestreo, los días 10 y 11 de agosto y 7 de septiembre de 2010, acompañados por los auditores designados al proyecto.

Para efectuar el análisis de espesores con respecto al diseño estructural definido para la ruta, se estableció tomar una muestra cada 500 metros alternando los sentidos de circulación (derecho e izquierdo) procurando abarcar toda la longitud del proyecto. En total se tomaron 47 muestras

⁴ ASTM D-6307: "Contenido de asfalto de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método de ignición"

⁵ ASTM D-95: "Contenido de agua en petróleo y materiales bituminosos por destilación"

⁶ ASTM D-5444: "Análisis mecánico del agregado extraído"

Tabla 4. Detalle de los estacionamientos correspondientes a la extracción de los núcleos, realizada por el LanammeUCR en la carpeta asfáltica.

Nº de Núcleo	Estacionamiento	Sentido
1	8+395	Sabalito-Las Mellizas
2	8+760	Las Mellizas-Sabalito
3	9+261	Sabalito-Las Mellizas
4	9+739	Las Mellizas-Sabalito
5	10+300	Sabalito-Las Mellizas
6	10+750	Las Mellizas-Sabalito
7	11+300	Sabalito-Las Mellizas
8	11+830	Las Mellizas-Sabalito
9	12+280	Sabalito-Las Mellizas
10	12+730	Las Mellizas-Sabalito
11	13+250	Sabalito-Las Mellizas
12	13+745	Las Mellizas-Sabalito
13	14+250	Sabalito-Las Mellizas
14	14+740	Las Mellizas-Sabalito
15	15+250	Sabalito-Las Mellizas
16	15+850	Las Mellizas-Sabalito
17	16+310	Sabalito-Las Mellizas
18	16+820	Las Mellizas-Sabalito
19	17+360	Sabalito-Las Mellizas
20	17+815	Las Mellizas-Sabalito
21	18+400	Sabalito-Las Mellizas
22	18+775	Las Mellizas-Sabalito
23	19+294	Sabalito-Las Mellizas
24	19+750	Las Mellizas-Sabalito
25	20+240	Sabalito-Las Mellizas
26	20+750	Las Mellizas-Sabalito
27	21+480	Sabalito-Las Mellizas
28	21+865	Las Mellizas-Sabalito
29	22+510	Sabalito-Las Mellizas
30	22+950	Las Mellizas-Sabalito
31	23+425	Sabalito-Las Mellizas
32	23+900	Las Mellizas-Sabalito
33	24+400	Sabalito-Las Mellizas
34	24+750	Las Mellizas-Sabalito

Tabla 4. Continuación....

Nº de Núcleo	Estacionamiento	Sentido
35	25+250	Sabalito-Las Mellizas
36	25+775	Las Mellizas-Sabalito
37	26+150	Sabalito-Las Mellizas
38	26+700	Las Mellizas-Sabalito
39	27+211	Sabalito-Las Mellizas
40	27+750	Las Mellizas-Sabalito
41	28+200	Sabalito-Las Mellizas
42	28+704	Las Mellizas-Sabalito
43	29+200	Sabalito-Las Mellizas
44	29+700	Las Mellizas-Sabalito
45	30+300	Sabalito-Las Mellizas
46	30+552	Las Mellizas-Sabalito
47	30+960	Sabalito-Las Mellizas

En la Figura 3 se detalla la ubicación espacial de cada uno de los puntos donde el LanammeUCR extrajo un núcleo.

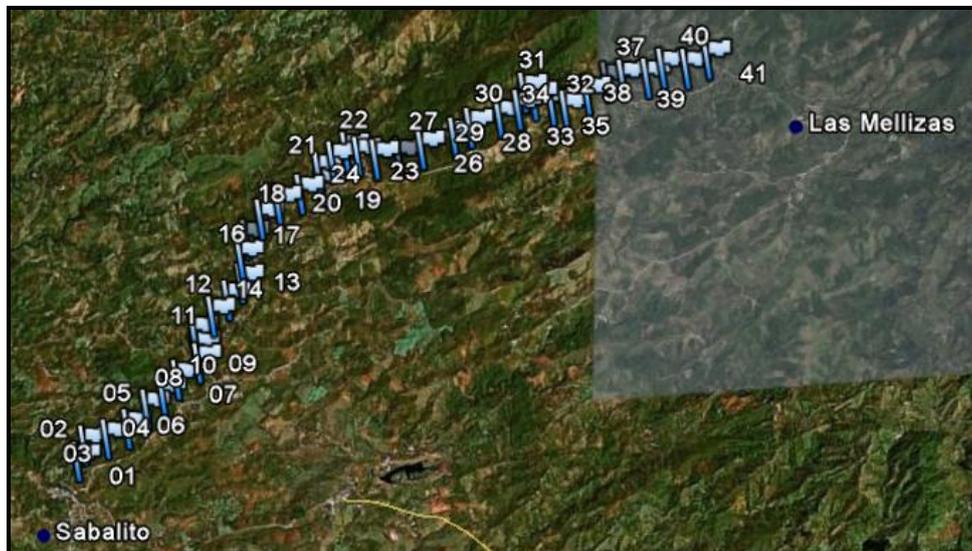


Figura 3. Ubicación de los puntos de extracción de núcleos.

3. 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.

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

3.1.1 Sobre la mezcla asfáltica producida

Hallazgo N° 1: Se observa que 3 de las 15 muestras analizadas presentan valores de contenido de asfalto fuera del rango óptimo $\pm 0,5\%$ (4,9 %- 5,9 %) 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-01-2001, establecen que la variabilidad permitida para el parámetro de contenido de asfalto debe mantenerse en $\pm 0,5\%$ con respecto al valor óptimo de asfalto determinado en el diseño de mezcla.

De acuerdo con el diseño de mezcla vigente⁷ para la producción de la mezcla asfáltica en caliente, identificado como informe N° 564-2010 elaborado por el laboratorio LGC Ingenieros Consultores, el valor óptimo de asfalto está definido como $5,4 \pm 0,5\%$ sobre el peso de la mezcla, lo cual define que los límites permisibles del rango de contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica producida son 4,9 % y 5,9 %.

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en el Informe de Ensayo I-0951-10, se evidencia que 2 de los resultados de contenido de asfalto son menores al límite inferior permisible y un resultado es mayor al límite superior permisible del rango establecido, para las muestras 1790-10, 1791-10 y 1794-10, respectivamente.

En la Figura 4 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 denota que la mayoría de los resultados de contenido de asfalto de los restantes días de producción se encuentran entre el contenido óptimo de asfalto y el límite superior.

⁷ Enviado a la Auditoría Técnica mediante el oficio de DO-I-10-0578 del 10 de mayo de 2010.

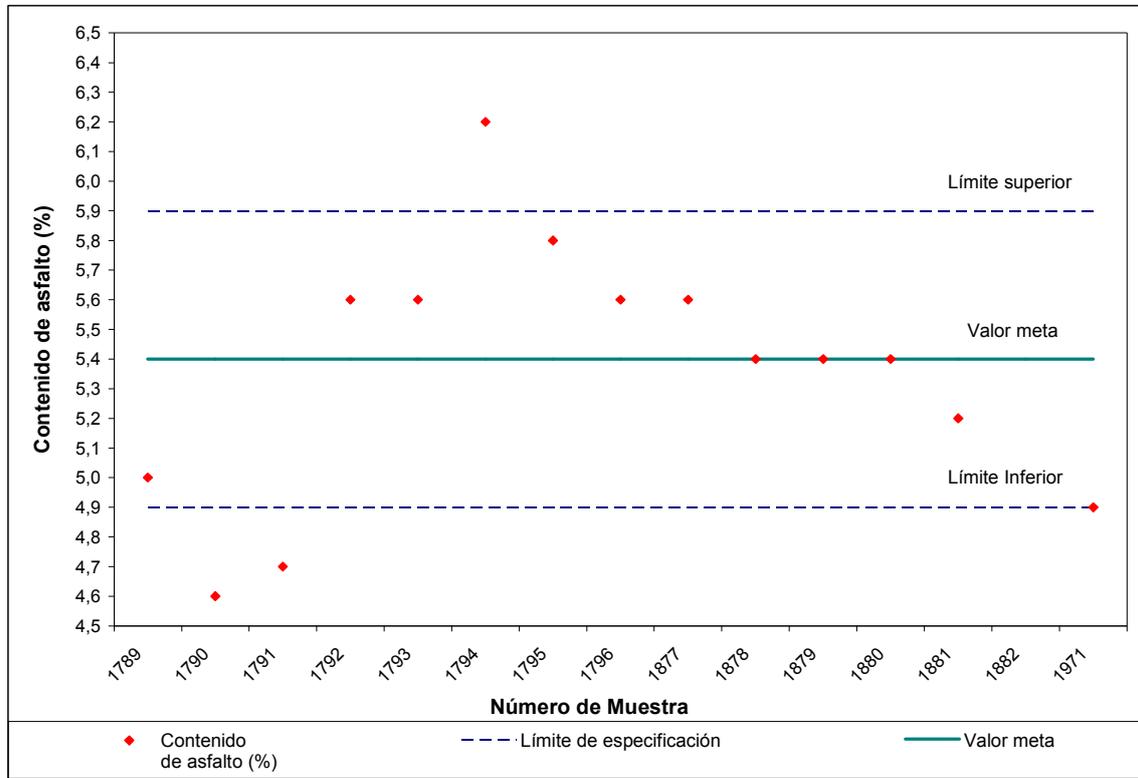


Figura 4. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica ensayadas.

En la Tabla 5 se resumen los resultados obtenidos para cada una de las muestras analizadas y se resaltan los resultados que se encuentran fuera del rango óptimo de contenido de asfalto.

Tabla 5. Resultados reportados en el informe de ensayo I-0951-10 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR el 28 de septiembre de 2010

Muestra		Fecha	Punto de muestreo/ Estacionamiento	Contenido (%)	
				Agua	Asfalto
<i>Límite inferior</i>				4,9	
<i>Límite superior</i>				5,9	
1	1789 -10	17/11/2009	Planta	0,12	5,0
2	1790 -10	18/11/2009	Planta	0,12	4,6
3	1791 -10	19/11/2009	21 + 260	0,14	4,7
4	1792 -10	23/11/2009	21 + 800	0,16	5,6
5	1793 -10	24/11/2009	21 + 450	0,10	5,6
6	1794 -10	25/11/2009	22 + 100	0,16	6,2
7	1795 -10	26/11/2009	22 + 500	0,16	5,8
8	1796 -10	27/11/2009	23 + 400	0,12	5,6
9	1877 -10	30/11/2009	24 + 750	0,12	5,6
10	1878 -10	01/12/2009	Planta	0,18	5,4
11	1879 -10	02/12/2009	26 + 660	0,12	5,4
12	1880 -10	03/12/2009	25 + 740	0,12	5,4
13	1881 -10	07/12/2009	Planta	0,12	5,2
14	1882 -10	08/12/2009	27 + 029	0,14	5,5
15	1971 -10	09/12/2009	28 + 120	0,10	4,9
Promedio				0,13	5,4
Desv. Estándar				0,02	0,4

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.

Al presentarse una cantidad de asfalto mayor a la requerida en la mezcla asfáltica, la probabilidad de que la carpeta de rodamiento muestre indicios de exudación de asfalto aumenta. Lo cual podría afectar la fricción que debería existir entre los neumáticos de los vehículos y la superficie de la carretera, además podrían verse afectadas otras propiedades mecánicas de la carretera.

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

Hallazgo N° 2: Algunos resultados granulométricos reportados para las mallas $3/8$, N° 4, N° 8 N° 16, N° 30 y N° 200 se encuentran fuera de los límites de especificación para la granulometría de diseño aplicada (tamaño máximo nominal de 12,5 mm) establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001.

Los resultados de la composición granulométrica de las muestras de mezcla asfáltica analizadas se detallan en la Tabla 6. Dichos resultados corresponden al ensayo ASTM D-5444 "Análisis mecánico del agregado extraído" que realizó el laboratorio del LanammeUCR, los cuales fueron reportados en el informe identificado como I-0951-10 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial el 28 de septiembre de 2010.

Tabla 6. Resultados de composición granulométrica reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR mediante el informe I-0951-10 recibido por la auditoría el 28 de septiembre del 2010.

Muestra	Fecha muestreo	Estacionam.	Mallas									
			19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	1,18 mm (N°16)	600 μ m (N°30)	300 μ m (N°50)	75 μ m (N°200)	
Límite inferior ‡			100	90	70	45	28	16	9	5	2	
Límite superior ‡			100	100	90	65	39	26	19	16	8	
1	1789 -10	27/07/ 10	Planta	100,0	94,7	84,6	51,6	34,5	24,19	18,23	13,96	7,57
2	1790 -10	27/07/ 10	Planta	100,0	93,7	83,6	46,7	31,3	22,09	16,89	12,64	6,90
3	1791 -10	29/07/ 10	21.260	100,0	92,5	79,7	43,7	29,7	21,67	16,47	12,49	6,53
4	1792 -10	29/07/ 10	21.800	100,0	97,3	90,5	58,6	39,1	26,44	20,02	15,13	8,58
5	1793 -10	30/07/ 10	21.450	100,0	93,4	84,5	52,2	35,0	24,55	18,57	14,24	7,77
6	1794 -10	30/07/ 10	22.100	100,0	95,0	86,0	50,1	34,0	24,39	18,65	14,01	7,81
7	1795 -10	01/08/ 10	22.500	100,0	95,9	87,0	53,8	35,4	24,80	18,77	14,45	7,95
8	1796 -10	01/08/ 10	23.400	100,0	97,2	90,6	55,3	36,5	25,41	19,29	14,50	8,24
9	1877 -10	10/08/ 10	24.750	100,0	93,5	85,9	52,7	34,8	24,26	18,21	13,96	7,57
10	1878 -10	10/08/ 10	Planta	100,0	97,4	88,8	53,0	35,3	24,40	18,53	13,98	7,88
11	1879 -10	11/08/ 10	26.660	100,0	93,9	84,2	50,0	33,6	23,56	17,59	13,29	6,83
12	1880 -10	11/08/ 10	25.740	100,0	90,1	79,7	44,1	29,9	21,47	16,39	12,25	6,67
13	1881 -10	12/08/ 10	Planta	100,0	94,6	86,0	49,3	31,6	21,77	16,20	12,28	6,42
14	1882 -10	12/08/ 10	27.029	100,0	95,9	88,5	53,4	34,8	23,92	18,13	13,62	7,56
15	1971 -10	20/08/ 10	28.120	100,0	93,9	81,6	47,1	31,8	22,78	17,24	13,19	7,18
Promedio				100,0	94,6	85,4	50,8	33,8	23,7	17,9	13,6	7,4
Desv. Estándar				0,0	2,0	3,4	4,1	2,6	1,5	1,1	0,9	0,6

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

De los resultados presentados en la Tabla 6 se determina que varias muestras presentan incumplimientos con respecto a los límites de tamaño granulométrico establecidos en la Tabla 1 de la Disposición Vial AM-01-2001 para la granulometría de diseño para agregado con tamaño máximo de 12,5 mm.

Los valores reportados para las muestras 1791-10 y 1880-10 exceden el límite superior definido en las especificaciones mencionadas para la malla N° 4.

La muestra 1792-10 presenta incumplimientos en varios de los resultados de las mallas especificadas, específicamente los valores reportados en el informe de ensayos I-0951-10 exceden el límite superior de especificación para las mallas 3/8", N° 8, N° 16, N° 30 y N° 200.

De igual manera se detecta que la muestra 1796-10 presenta valores que exceden el límite superior de especificación para las mallas 3/8", N° 30 y N° 200.

Se observa que en todos los incumplimientos detectados, los resultados exceden el límite superior de especificación. En resumen se detectan dos incumplimientos para la malla 3/8", N° 4, N° 30 y N° 200 y uno para las mallas N° 8 y N° 16.

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.

Exceder la proporción de tamaño granulométrico establecido en el diseño de mezcla puede provocar que se requiera mayor cantidad de asfalto para recubrir los agregados que componen la mezcla asfáltica, esto adquiere mayor importancia con las fracciones más finas del agregado (malla N° 200), ya que pequeños incrementos pueden demandar gran parte del asfalto añadido a la mezcla, provocando variaciones en la densidad, estabilidad y tenacidad de la mezcla.

En las Figuras 5, 6, 7 y 8 que se adjuntan en el *Anexo 1*, se presentan gráficamente los resultados de cada una de las granulometrías de las muestras ensayadas, los cuales muestran el cumplimiento de los límites, en el periodo de análisis, de los tamaños granulométricos para las mallas de 1/2" y N° 8 respectivamente.

3.1.2 Sobre la mezcla asfáltica colocada

Hallazgo N° 3: Se comprobó que 5 de los 47 núcleos extraídos tienen un espesor menor al espesor establecido de 5 cm.

El Diseño Estructural de Pavimentos del proyecto Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 613, Sección Sabalito – Las Mellizas, enviado a esta auditoría mediante el oficio DII 01-10-1020 del 17 de mayo de 2010, establece que el espesor del paquete estructural de la carpeta asfáltica es de 5 cm.

Durante el proceso de extracción de los núcleos, se procedió a determinar el espesor total de la capa de asfalto. Los núcleos se extrajeron cada 500 m, aproximadamente, alternando los carriles según el sentido de circulación (cada kilómetro por sentido de circulación). En la Tabla 7 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 7. Resultados del espesor de los núcleos extraídos de la carpeta asfáltica colocada en el proyecto reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR mediante los Informes I-0986-10 y el I-1005-10

N° de Núcleo	Estacionamiento extracción	Sentido	Espesor total de carpeta ^δ (cm)
1	8+395	Sabalito-Las Mellizas	6,2
2	8+760	Las Mellizas-Sabalito	6,8
3	9+261	Sabalito-Las Mellizas	6,0
4	9+739	Las Mellizas-Sabalito	6,2
5	10+300	Sabalito-Las Mellizas	4,1
6	10+750	Las Mellizas-Sabalito	5,7
7	11+300	Sabalito-Las Mellizas	6,2
8	11+830	Las Mellizas-Sabalito	7,0
9	12+280	Sabalito-Las Mellizas	7,9
10	12+730	Las Mellizas-Sabalito	7,2
11	13+250	Sabalito-Las Mellizas	6,5
12	13+745	Las Mellizas-Sabalito	4,2
13	14+250	Sabalito-Las Mellizas	4,9
14	14+740	Las Mellizas-Sabalito	5,2
15	15+250	Sabalito-Las Mellizas	6,3
16	15+850	Las Mellizas-Sabalito	6,0
17	16+310	Sabalito-Las Mellizas	6,5
18	16+820	Las Mellizas-Sabalito	7,0

Tabla 7. Continuación...

Nº de Núcleo	Estacionamiento de extracción	Sentido	Espesor total de carpeta ^δ (cm)
19	17+360	Sabalito-Las Mellizas	6,3
20	17+815	Las Mellizas-Sabalito	6,6
21	18+400	Sabalito-Las Mellizas	7,2
22	18+775	Las Mellizas-Sabalito	8,0
23	19+294	Sabalito-Las Mellizas	6,3
24	19+750	Las Mellizas-Sabalito	6,0
25	20+240	Sabalito-Las Mellizas	7,3
26	20+750	Las Mellizas-Sabalito	5,7
27	21+480	Sabalito-Las Mellizas	6,4
28	21+865	Las Mellizas-Sabalito	6,7
29	22+510	Sabalito-Las Mellizas	5,3
30	22+950	Las Mellizas-Sabalito	6,8
31	23+425	Sabalito-Las Mellizas	6,8
32	23+900	Las Mellizas-Sabalito	5,8
33	24+400	Sabalito-Las Mellizas	6,5
34	24+750	Las Mellizas-Sabalito	4,2
35	25+250	Sabalito-Las Mellizas	5,2
36	25+775	Las Mellizas-Sabalito	5,0
37	26+150	Sabalito-Las Mellizas	5,0
38	26+700	Las Mellizas-Sabalito	6,9
39	27+211	Sabalito-Las Mellizas	8,2
40	27+750	Las Mellizas-Sabalito	8,7
41	28+200	Sabalito-Las Mellizas	4,2
42	28+704	Las Mellizas-Sabalito	7,2
43	29+200	Sabalito-Las Mellizas	8,0
44	29+700	Las Mellizas-Sabalito	6,0
45	30+300	Sabalito-Las Mellizas	7,1
46	30+552	Las Mellizas-Sabalito	5,9
47	30+960	Sabalito-Las Mellizas	5,4
Promedio			6,2
Desviación estándar			0,9

^δ Espesor total de carpeta asfáltica, establecido en el diseño estructural del pavimento, es de 5 cm

De los resultados incluidos en la Tabla 7 se puede evidenciar que los núcleos extraídos en los estacionamientos 10+300, 13+745, 14+250, 24+750 y 28+200 presentan resultados menores a 5 cm

Al analizar los resultados de espesor de todos los núcleos que se detallan en la Tabla 7 se puede determinar que el espesor promedio de la carpeta asfáltica es de 6,2 cm y la desviación estándar de las mediciones es menor al 15% del promedio.

Además se puede determinar que 12 de 47 datos tienen valores de espesor mayor o igual a 7 cm.

En la Figura 5 se muestra gráficamente el perfil de los espesores de los núcleos extraídos por el personal del LanammeUCR con respecto al estacionamiento (PK) de extracción.

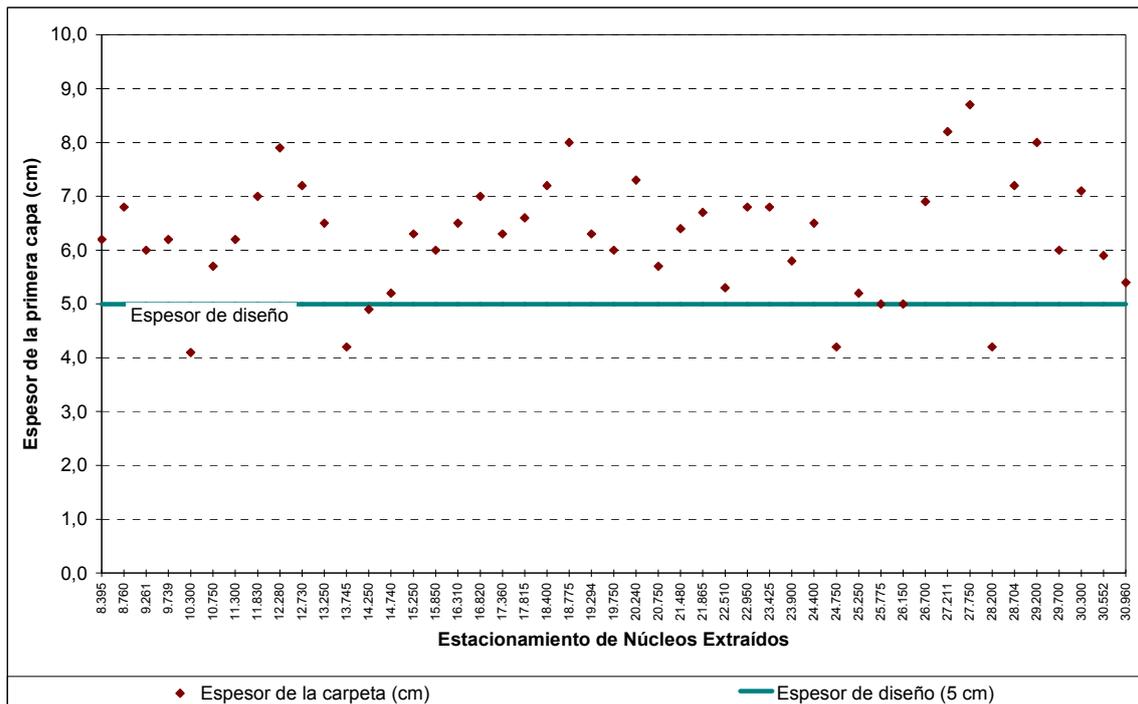


Figura 5. Gráfico que ilustra el comportamiento de los datos de espesor medido de los núcleos extraídos de la carpeta asfáltica

El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Memoria de cálculo Rediseño de estructura de pavimentos proyecto Mejoramiento Sabalito-Las Mellizas, enviado el 17 de mayo de 2010 mediante oficio DII01-10-2010.

Es fundamental que la Administración tome en consideración que los núcleos extraídos representan el comportamiento de un tramo de carretera, por lo que se deduce que existen tramos de carpeta asfáltica en donde el espesor colocado es menor al espesor establecido en el diseño estructural. Asimismo, la Administración debe analizar las eventuales repercusiones de la reducción en el espesor de dicha carpeta, con respecto a la capacidad de soporte de cargas de tránsito y establecer las acciones preventivas que se deriven de los análisis correspondientes.

3.1.3 Sobre el diseño de la mezcla asfáltica

Hallazgo N° 4: La tolerancia permitida para la granulometría propuesta en el diseño de mezcla (informe N° 564-2010) se restringe para lograr cumplir los límites de especificación para las mallas $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N° 4 y N° 30.

Con el propósito de corroborar que la tolerancia de la granulometría de diseño determinada en el informe de diseño de mezcla N° 564-2010 cumple con las especificadas para la "Graduación de la combinación de agregados" en la Tabla 1 de la Disposición AM-01-2001, se realiza una comparación de los límites especificados para cada tamaño granulométrico con los valores extremos del rango, resultantes al aplicar la tolerancia establecida en la tabla mencionada. En la Tabla 8 se detallan los resultados de la comparación realizada.

Como resultado del análisis del rango de diseño, se evidenció que el porcentaje de agregado que pasa las mallas de $\frac{1}{2}$ " y N° 4, se encuentran debajo del límite inferior de especificación. Para el caso de la malla N° 30 el rango de diseño supera el límite superior de especificación. Lo cual restringe el rango de tolerancia permitido en 2 unidades (de 5) para la malla de $\frac{1}{2}$ " y en 1 unidad (de 4) para las mallas N° 4 y N° 30.

Además el límite inferior del rango de diseño coincide con el límite inferior de especificación para la malla N° 8. De igual manera el límite superior del rango de diseño y el límite superior de especificación coinciden para la malla N° 50.

En la Tabla 8 se detalla la comparación efectuada y en la Figura 6 se muestra gráficamente la comparación entre los límites del rango de diseño y los límites de especificación.

Tabla 8. Granulometría del diseño de mezcla asfáltica de acuerdo con informe N° 564-2010

Mallas	Rango de especificación (1)	Tolerancia de granulometría (1) (2)	Granulometría de diseño	Rango de diseño (3)	Tolerancia real de granulometría (1) (2)
¾ (19,1 mm)	100	-----	100	100	-----
½ (12,5 mm)	90 – 100	± 5	93	88 – 98	-3 / +5
⅜ (9,5 mm)	70 – 90	± 5	84	79 – 89	± 5
N° 4 (4,75 mm)	46 – 65	± 4	49	45 – 53	-3 / +4
N° 8 (2,36 mm)	28 – 39	± 4	32	28 – 36	± 4
N° 16 (1,18 mm)	16 – 26	± 4	22	18 – 26	± 4
N° 30 (600 µm)	9 – 19	± 4	16	12 – 20	-4 / +3
N° 50 (300 µm)	5 – 16	± 4	12	8 – 16	± 4
N° 200 (75 µm)	2 – 8	± 2	5,3	3,3 – 7,3	± 2

(1) De acuerdo con los valores establecidos para la graduación de 12,5 mm en la Tabla 1 del apartado 401.04.02.01 de la Disposición Vial AM-01-2001.

(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.

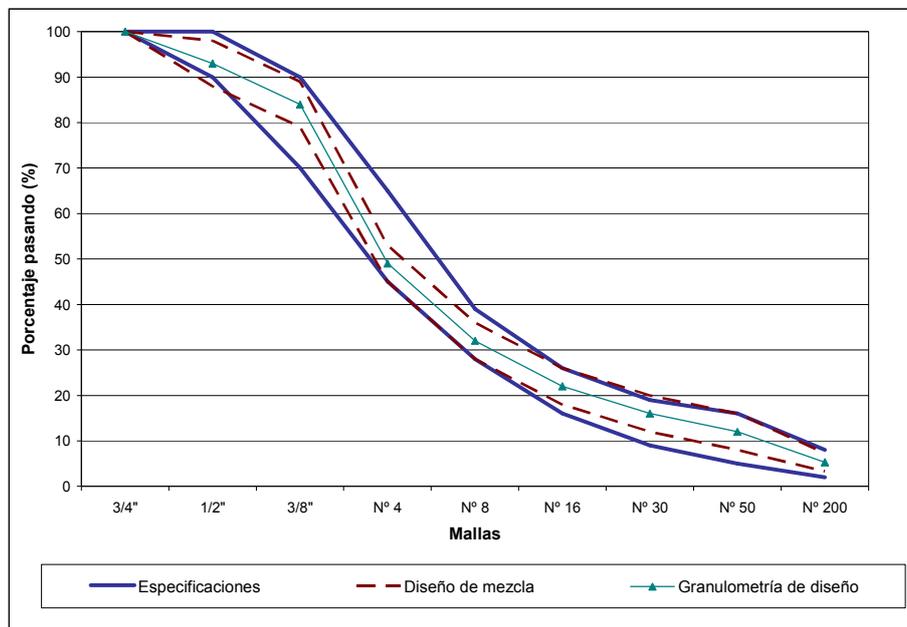


Figura 6. Gráfico comparativo de granulometría de diseño de mezcla, rango de diseño y límites de especificación según la Disposición Vial AM-01-2001

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.*

Cuando los límites del rango de diseño exceden los límites de especificación reduce el ámbito en el que puede variar la combinación granulométrica durante el proceso productivo, asimismo, la coincidencia entre los límites del rango de diseño y los límites de especificación, podría representar un riesgo potencial de incumplimiento como producto de la variabilidad propia del proceso de producción. Tal como sucede con el tamaño granulométrico malla de 1/2” en donde la magnitud del rango se reduce en un 40% hacia el límite inferior, lo cual implica que por condiciones del diseño de mezcla el porcentaje de agregado que pasa dicha malla solamente puede variar en una magnitud de 3%, y no en un 5% tal como lo permite la especificación. En los casos de las mallas N° 4 y N° 30 esta reducción corresponde a un 25% del rango inferior y superior, respectivamente.

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.

3.2 OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA

Como se indicó anteriormente, 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.

Como parte del proceso de auditoría aplicado en este informe, se analiza parte de la información aplicando los conceptos y las especificaciones establecidas en el “Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010” con el propósito de fundamentar la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en el control de procesos de producción

3.2.1 Sobre la variabilidad estadística de la mezcla asfáltica producida

Observación N° 1: Se determina que existe variabilidad significativa⁸ en los datos de tamaño granulométrico para las mallas N° 30 y N° 200 y de contenido de asfalto de las muestras ensayadas.

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 como resultado de la variabilidad inherente del proceso.

Por esta razón y con el propósito de aportar elementos que permitan acrecentar la calidad de los productos que se utilizan en las labores de construcción de infraestructura vial, la auditoría realiza una evaluación estadística de los resultados de la mezcla asfáltica obtenidos de las muestras tomadas y ensayadas por el personal técnico del LanammeUCR, aplicando el procedimiento establecido en la sección 107.05 “Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor de trabajo)” del “Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010”, (ver *Anexo 4*), con el propósito de evidenciar la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en el control de procesos de producción

⁸ Variabilidad significativa implica que, estadísticamente, la probabilidad de incumplimiento es alta

Los índices de calidad (Q_L y Q_U) se estiman a partir de los resultados de ensayo mostrados en la Tabla 5 para el contenido de asfalto y en la Tabla 6 para cada una de las mallas de la combinación granulométrica y los límites de especificación establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001, para cada uno de los parámetros analizados.

Los índices de calidad son estimadores del sesgo de los datos analizados con respecto al valor meta y son indicadores de la variabilidad existente en el conjunto de datos analizados.

Con los índices de calidad de los parámetros que se van a analizar (tamaño granulométrico y contenido de asfalto), se obtiene para cada uno el porcentaje de datos fuera de los límites de especificación, aplicando la Tabla 107-1 de la sección indicada del CR-2010. El porcentaje fuera de los límites de especificación es una estimación del porcentaje de producto que podría encontrarse fuera de los rangos de especificación para el periodo analizado.

Para el análisis que realiza la auditoría se consideran la variabilidad permitida para los parámetros de categoría II (lo que implica una mayor variabilidad en el proceso productivo) que se indican en la Tabla 107-2 "Factor de calidad". Bajo estas condiciones, para un conjunto de 15 datos, la variabilidad máxima permitida ó el porcentaje de valores fuera de los límites de especificación es de un 16,674%, para considerar que el parámetro analizado, y por ende la mezcla asfáltica producida, posee una calidad aceptable. Visto de otra manera el porcentaje de valores que probablemente cumplan con las especificaciones, o sea están dentro de los límites de especificación, es de 83,326%. En la Tabla 9 se resumen los resultados del análisis realizado.

Tabla 9. 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
Valor porcentual			Máx. 16,67%,	min. 83,326%.
Malla ¾"	--	--	--	--
Malla ½"	2,33	2,74	2,57%	97,43%
Malla 3/8"	4,51	1,34	10,06%	89,94%
Malla N° 4	1,40	3,46	9,31%	90,69%
Malla N° 8	2,28	2,03	5,04%	94,96%
Malla N° 16	5,25	1,56	7,10%	92,90%
Malla N° 30	7,98	0,94	18,13%	81,87%
Malla N° 50	9,77	2,73	0,82%	99,18%
Malla N° 200	8,38	0,88	19,72%	80,28%
Contenido Asfalto	1,10	1,25	26,08%	73,92%

Del análisis de los resultados que se presentan en la Tabla 9 se concluye que la variabilidad del parámetro de contenido de asfalto y de los tamaños granulométricos N° 30 y N° 200 es mayor a la aceptable, ya que se estima que la variabilidad de dichos parámetro es de un 26,08%, 18,13% y 19,72%, respectivamente, mayor al 16,67% establecido en la tabla 107-2 "Factor de calidad", lo cual aumenta la probabilidad de que se incumpla con las especificaciones contractuales.

Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Sección 107.05 "Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor de trabajo)" del "Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010

Al contrario, se observa que la variabilidad de los otros tamaños granulométricos no exceden en ninguno de los casos, el 10,06%, lo cual demuestra que éstos parámetros muestran una variabilidad no significativa, lo que permite deducir que la probabilidad de incumplimiento con respecto a las especificaciones contractuales es baja.

3.2.2 Sobre la variabilidad estadística del espesor de la mezcla asfáltica colocada

Observación N° 2: Se determina que el espesor de la mezcla asfáltica colocada presentan una variabilidad significativa⁹.

Como parte del control estadístico que sería recomendable aplicar al proceso constructivo, se analiza la variabilidad en cuanto a dimensión de espesor de la carpeta asfáltica colocada, evaluando la variabilidad de los resultados obtenidos de los núcleos extraídos de carpeta asfáltica mediante estimadores estadísticos, aplicando el procedimiento establecido en la sección 107.05 "Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor de trabajo)" del "Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010", (ver Anexo 4), con el propósito de evidenciar la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en el control de procesos constructivos.

En el rediseño de la estructura del pavimento enviado el 17 de mayo de 2010 mediante el oficio DII-01-2010, se establece que el espesor de carpeta asfáltica a colocar es de 5 cm. Como los diseños estructurales de pavimento no acostumbran a indicar un espesor máximo de carpeta asfáltica, la evaluación del porcentaje de cumplimiento se efectúa con respecto al límite inferior, únicamente.

Aplicando la Tabla 107-2 "Factor de calidad". Bajo estas condiciones, para un conjunto de 47 datos, la variabilidad máxima permitida ó el porcentaje de valores fuera de los límites de especificación es de un 8,02%, para considerar que el parámetro analizado, y por ende la mezcla asfáltica producida, posee una calidad aceptable. Visto de otra manera el porcentaje de valores que probablemente cumplan con las especificaciones, o sea están dentro de los límites de especificación, es de 91,98%. Los índices de calidad estimados para el parámetro de espesor se indican en la Tabla 10..

⁹ Variabilidad significativa se refiere a que la probabilidad de incumplimiento es alta.

Tabla 10. Índices de calidad y variabilidad de los resultados de espesor de los núcleos extraídos de la carpeta asfáltica colocada

Índice de calidad Parámetro	Q_L	Q_U	Variabilidad	
			Fuera de los límites de especificación	Dentro de los límites de especificación
Valor porcentual			Máx. 8,02%,	min. 91,98%.
Espesor	1,31	0,00	9,85%	90,15%

Como se observa en la Tabla anterior el espesor de los núcleos medidos en sitio durante el proceso de auditoría técnica, presentan un porcentaje de incumplimiento de 9,85%, que es mayor al 8,02% definido en la sección 107.05 "Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor de trabajo)" del "Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010", por lo que se puede afirmar que la variabilidad del espesor de la carpeta asfáltica es significativa.

Normativa técnica que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación: 107.05 "Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor de trabajo)" del "Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010 y Memoria de cálculo Rediseño de estructura de pavimentos proyecto Mejoramiento Sabalito-Las Mellizas, enviado el 17 de mayo de 2010 mediante oficio DII01-10-2010

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

Observación N° 3: 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 11. Valores definidos para los parámetros de calidad en la Disposición Vial AM-01-2001. se detallan los valores establecidos en las especificaciones contractuales para cada uno de los parámetros señalados.

Tabla 11. 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.

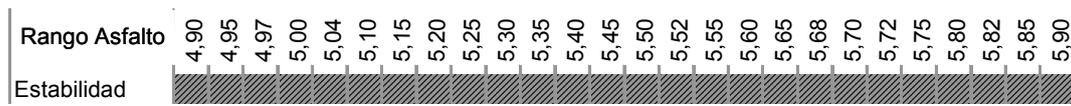
Los valores establecidos en las especificaciones contractuales para todos los parámetros mencionados deben cumplirse dentro de la totalidad del rango óptimo de contenido de asfalto establecido en el diseño de mezcla analizado en Informe N° 564-2010, que en el caso de estudio corresponde a 5,4% ± 0,5% (4,9% a 5,9%). 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. Por lo que se cumple con las especificaciones de este parámetro, (inciso a. del apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001) en todo el rango óptimo de contenido de asfalto.



- Se cumple con el rango del parámetro de flujo (20 a 40 $1/100$ cm indicado en el inciso b. del apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001) en todo el rango de contenido de asfalto



- El límite inferior del rango de contenido de asfalto debe aumentarse de 4,90% a 5,04% para que los vacíos de la mezcla no sobrepasen el 5% y el límite inferior debe reducirse de 5,90% a 5,82% para que los vacíos en mezcla sean mayores al 3%. (inciso d. del apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001).



Lo cual indica que se incumpliría con los valores límites de este parámetro si durante la producción se utiliza un valor de contenido de asfalto menor a 5,04% y mayor a 5,82%.

- Se cumple con el rango del parámetro de relación polvo/asfalto (0,6 a 1,3 indicado en el inciso e. del apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001) en todo el rango de contenido de asfalto.



- 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).



- Según lo que se indica en el informe de diseño de mezcla asfáltica INF. 564-2010 el tránsito que se estima para la ruta se clasifica como medio (inferior a 3 millones de ejes equivalentes), por lo que el parámetro de VFA (inciso i. del apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2001) debe mantenerse entre 65% y 78%. Al analizar el diseño de mezcla se obtiene que el límite inferior del rango de contenido de asfalto debe aumentarse de 4,90% a 4,97% para que el valor de VFA no sea menor a 65% y el límite superior del rango de contenido de asfalto debe reducirse de 5,90% a 5,68% para que el valor del VFA no exceda 78%. Por lo que para cumplir con este parámetro se debe producir en un rango de contenido de asfalto de 4,97% a 5,68%.



En la Tabla 12 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 12. Análisis del rango efectivo de contenido de asfalto para el informe N° 564-2010

Parámetro	Límites de especificación		Contenido de asfalto (4,90% a 5,90%)	
			Porcentaje de cumplimiento	
			Mínimo	Máximo
Estabilidad, kg	Mayor a 800		4,90	5,90
Flujo, 1/100 cm	20	40	4,90	5,90
Contenido de vacíos, %	5	3	5,04	5,82
Relación Polvo/asfalto	1,3	0,6	4,90	5,90
VMA	Mayor a 14		4,90	5,90
VFA (de 0,3 a 3 millones)	65	78	4,97	5,68
Rango efectivo de contenido de asfalto (ver Figura 7)			5,04	5,68

En la Tabla 12 y en la Figura 7 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 36%. Esto implica que habría que reducir la variación permitida de $\pm 0,5\%$ a $\pm 0,36\%$, aproximadamente.

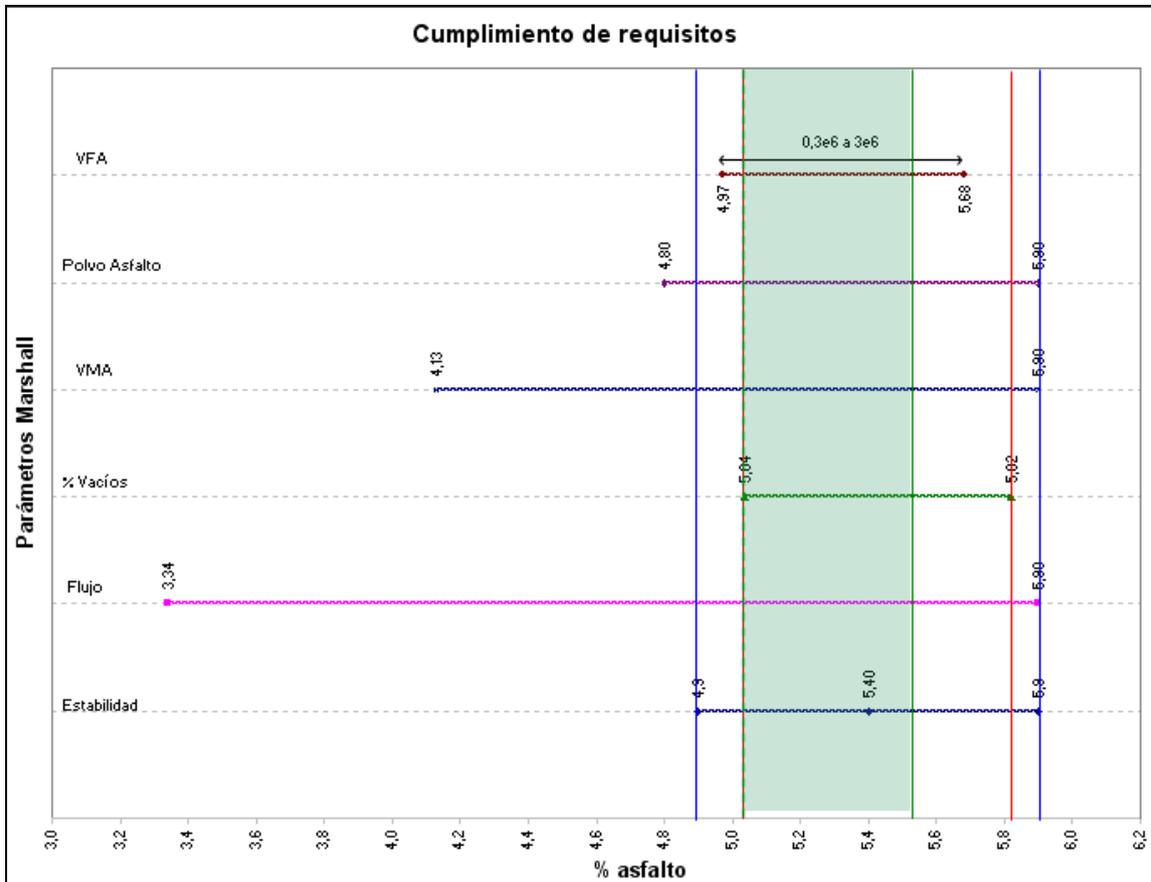


Figura 7. Análisis gráfico del rango efectivo de contenido de asfalto para el informe N° 564-2010

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 contenido de vacíos de la mezcla y vacíos llenos de asfalto (VFA), lo cual no asegura la calidad de la mezcla asfáltica producida.

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

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

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.

4. CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados de ensayo de laboratorio obtenidos en las muestras tomadas de mezcla asfáltica y núcleos de la carpeta asfáltica compactada y de las mediciones realizadas y los ensayos de laboratorio efectuados, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

- a. Se observa que 3 de los 15 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-01-2001 (óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$). Esto además de representar un incumplimiento de las especificaciones contractuales, puede provocar desnudamiento del agregado mineral de la mezcla con el consecuente deterioro que esto implicaría.
- b. Se evidencia que los tamaños granulométricos 9,5 mm, N° 4, N° 8, N° 16, N° 30 y N° 200 presentan incumplimiento con los límites definidos en la la Disposición Vial AM-01-2001 para un tamaño máximo nominal de 12,5 mm. Modificar las proporciones de tamaño granulométrico definido, lo cual puede afectar el desempeño de la mezcla asfáltica al no tener la estructura adecuada para soportar las cargas de tránsito de la carretera.
- c. La variabilidad estadística del parámetro de contenido de asfalto es significativa y de los tamaños granulométricos N° 30 y N° 200 (presenta una probabilidad estadística de incumplimiento alta) para el tamaño de muestra utilizado, esto además refleja que no se está produciendo una mezcla asfáltica homogénea.
- d. De acuerdo con los resultados de espesor medidos en la carpeta asfáltica colocada, se pudo determinar 5 de los 47 núcleos extraídos tienen un espesor de carpeta asfáltica menor a los 5 cm incumpliendo con el espesor mínimo establecido en el diseño estructural, sin embargo el 25% de los núcleos extraídos (12 de los 47 núcleos) tiene un espesor igual o mayor a 5 cm.
- e. Al analizar estadísticamente los resultados de espesor de la carpeta asfáltica colocada se observa una variabilidad significativa, lo cual aumenta la probabilidad de que se presenten espesores mayores al establecido para la estructura del pavimento.

- f. Al analizar el diseño de mezcla con el cual se está produciendo la mezcla asfáltica, se determinó que los parámetros volumétricos de porcentaje de vacíos en la mezcla y vacíos llenos de asfalto (VFA) no se cumplen en todo el rango de contenido de asfalto, esto puede causar deterioros por inestabilidad de la mezcla y exudación de asfalto.

5. RECOMENDACIONES

A continuación se listan algunas recomendaciones para que sean consideradas por la Dirección de Obras del Consejo nacional de Vialidad, con el propósito de que se definan e implementen soluciones integrales a éste y futuros proyectos de rehabilitación, reconstrucción y construcción de obras.

- a. Analizar las eventuales repercusiones, durante la etapa de operación, en la capacidad de soporte de cargas de tránsito y en el nivel de serviciabilidad, entre otros, producto de la disminución del espesor de la carpeta asfáltica colocada en algunos tramos de la carretera, para establecer e implementar acciones preventivas posibles.
- b. 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 contenido de asfalto y tamaños granulométricos de los agregados de la mezcla asfáltica.
- c. Aplicar herramientas estadísticas para monitorear y controlar variabilidad de los restantes parámetros Marshall y parámetros volumétricos obtenidos en el proceso de control de calidad de la mezcla asfáltica producida.
- d. Considerar incluir en proyectos futuros la medición de la variabilidad estadística del producto, como procedimiento de aceptación, con el propósito de garantizar un producto homogéneo.
- e. 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.
- f. Es fundamental que la Administración tome en consideración que los núcleos extraídos representan el comportamiento de un tramo de carretera, por lo que se deduce que existen tramos de carpeta asfáltica en donde el espesor colocado es menor al espesor establecido en el diseño estructural. Asimismo, la Administración debe analizar las eventuales repercusiones de la reducción en el espesor de dicha carpeta, con respecto a la capacidad de soporte de cargas de tránsito y establecer las acciones preventivas que se deriven de los análisis correspondientes.

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

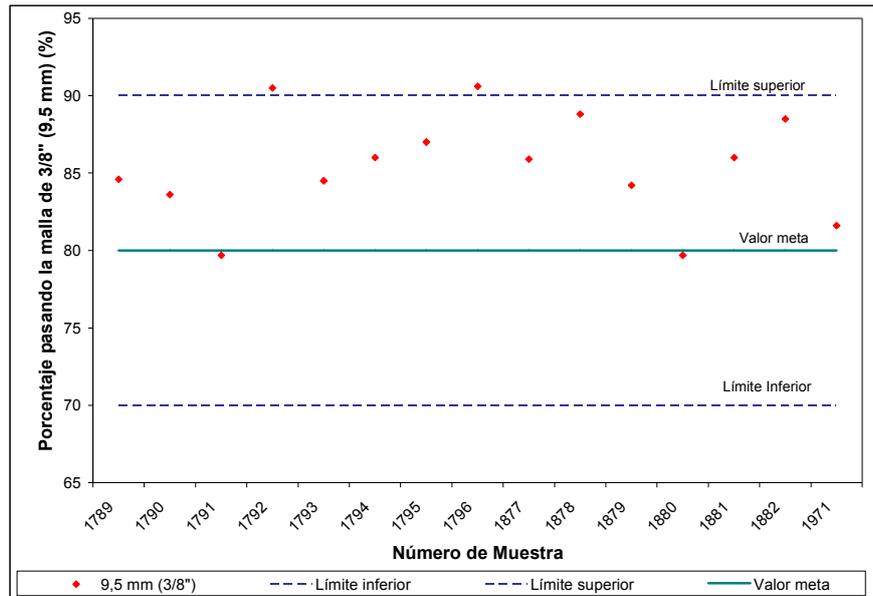


Figura 8. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla 3/8" (9,5 mm)

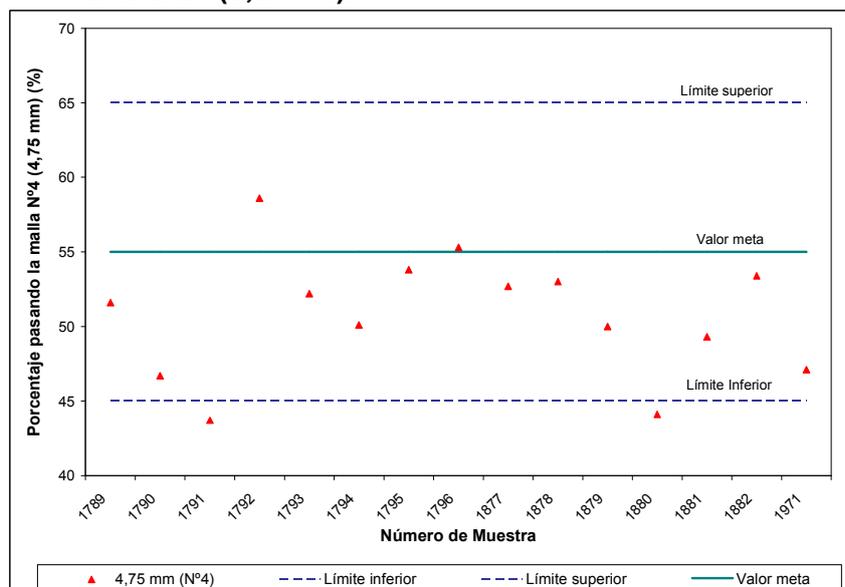


Figura 9. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 4 (4,75 mm)

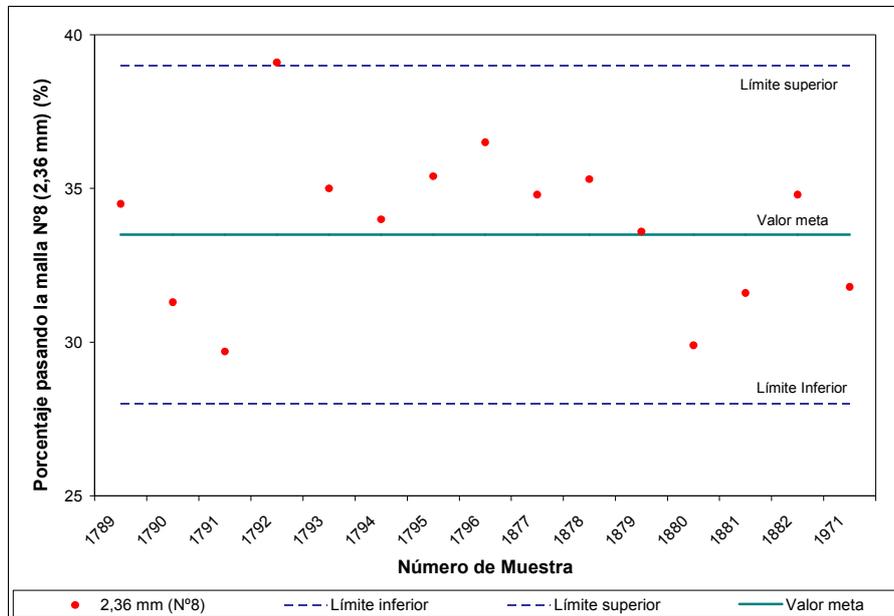


Figura 10. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 8(2,36 mm)

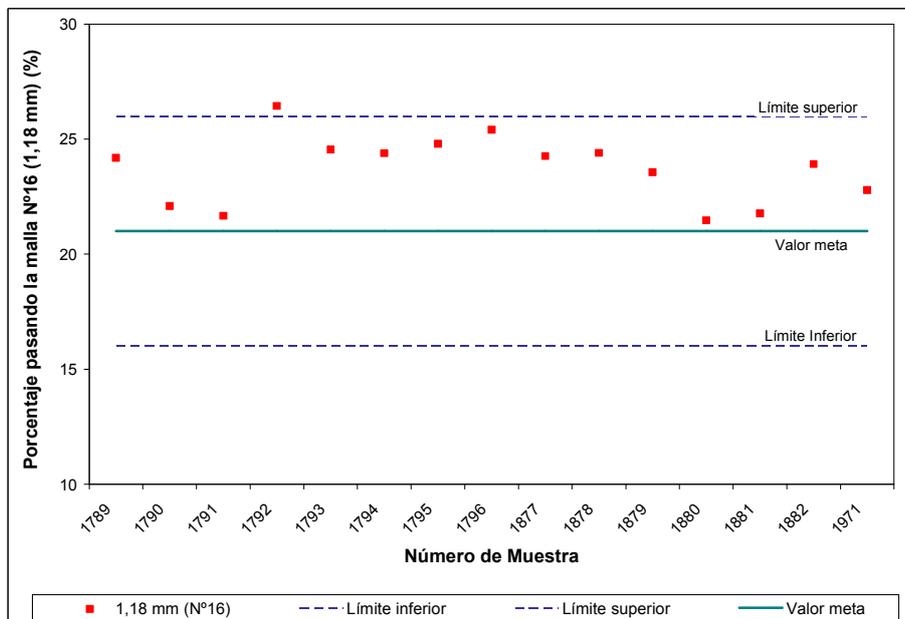


Figura 11. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 16 (1,18 mm)

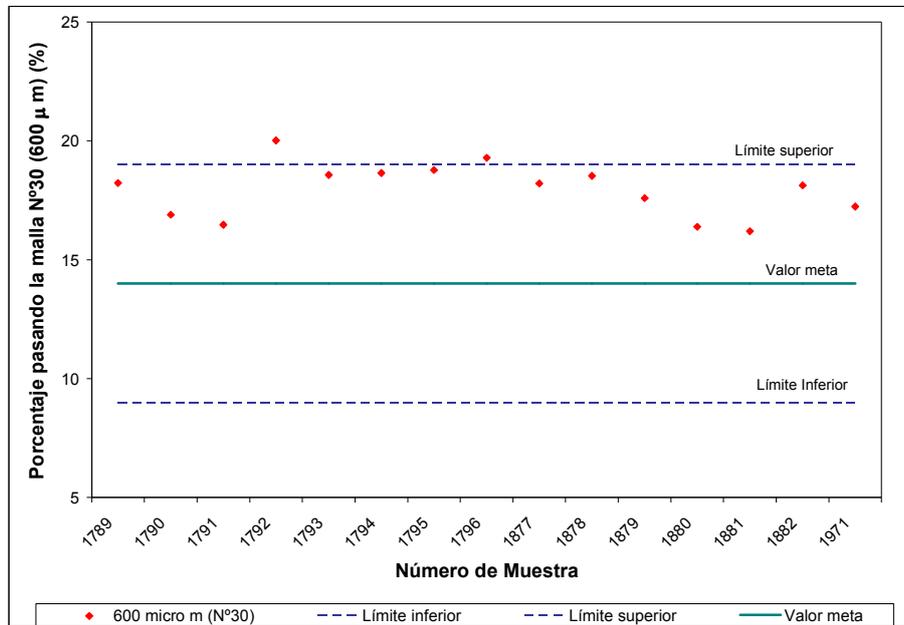


Figura 12. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 30 (600 μm)

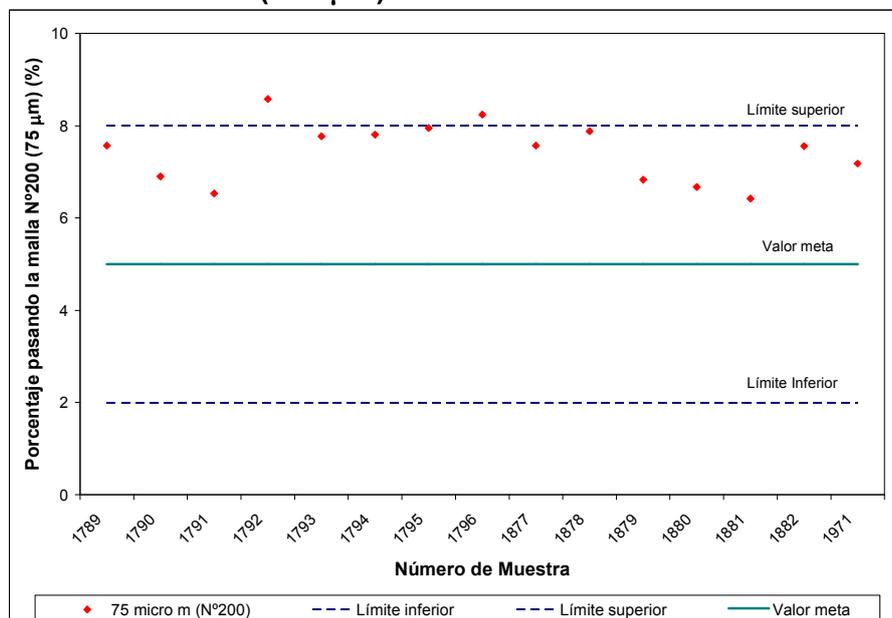


Figura 13. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 200 (75 μm)

Anexo 2. Informe de Ensayo I-0951-10

Anexo 3. Informes de Ensayo I-951I-0986-10 e I-1005-10

Anexo 4. Sección 107.05 “Evaluación estadística del trabajo y determinación del factor de pago (valor de trabajo)” del “Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR-2010”