

INFORME DE
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-057-10

**Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica
en caliente producida y colocada
para carpeta asfáltica de rodadura**

**Proyecto de Concesión Carretera San José-Caldera,
Sección II: Ciudad Colón-Orotina**

Agosto 2010

TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN EJECUTIVO	3
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Potestades	8
1.2 Objetivo de las auditorías técnicas	8
1.3 Objetivos del informe	9
1.4 Alcance del informe	9
1.5 Información general del proyecto vial	9
1.6 Metodología de la Auditoría Técnica	14
2. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	19
2.1 Hallazgos de la Auditoría	19
2.2 Observaciones de la Auditoría	27
3. CONCLUSIONES	34
4. RECOMENDACIONES	36
ANEXOS	38

**RESUMEN EJECUTIVO
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-057-10**

**Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica
en caliente producida y colocada
para carpeta asfáltica de rodadura**

**Proyecto de Concesión Carretera San José-Caldera,
Sección II: Ciudad Colón-Orotina**

Agosto 2010

Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica en caliente producida y colocada Proyecto de Concesión Carretera San José-Caldera, Sección II: Ciudad Colón-Orotina Informe de Auditoría Técnica Externa LM-AT-057-10	
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 mediante ensayos de laboratorio y valorar estadísticamente algunas de las características más relevantes de la mezcla asfáltica que se produce y coloca en la capa de rodadura en la Sección II del proyecto de Concesión San José-Caldera, 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 de estructural de pavimentos enviado por la Ing. Hadda Muñoz mediante el oficio SJC-1818/09-09 del 2 de septiembre de 2009.	
Alcance	
Análisis de muestras de mezcla asfáltica en caliente producida para la evaluación de los parámetros de granulometría y contenido de asfalto. Esta mezcla asfáltica se utiliza para completar el espesor de la carpeta asfáltica de diseño para la Sección II del proyecto de Concesión San José-Caldera. Además se determina el espesor final de la carpeta asfáltica colocada, mediante núcleos extraídos de la Sección mencionada	
Localización	
	Proyecto de Concesión San José-Caldera, Sección II Ciudad Colón-Orotina. • Inicio Sección II: PK 14+025 • Final Sección II: PK 51+720 Actividades realizadas por la auditoría: • Análisis de muestras de mezcla asfáltica • Análisis de espesor de carpeta colocada
Hallazgos	
Descripción	Fundamento normativo
Contenido de asfalto de las muestras analizadas: Se evidencia que 1 de los resultados de contenido de asfalto son mayores al límite superior permisible del rango establecido (ver Tabla 5 y Figura 4). Los resultados de contenido de asfalto de las muestras restantes presentan valores entre el contenido de asfalto óptimo y el límite superior permisible. (ver páginas 20 y 21 del informe).	Apartado 401.06 "Requisitos para la mezcla asfáltica" de la Disposición Vial AM-01-2001

<i>Granulometría de las muestras analizadas:</i> De los resultados de ensayo se determina que dos de los resultados reportados para la malla ½" y un resultado correspondiente a la malla N° 8 se encuentran por debajo del límite inferior definido en la especificación para la granulometría de diseño aplicada (tamaño máximo nominal de 12,5 mm) para las muestras (3086, 3094 y 3145)-10. (ver páginas 22 y 23 del informe)	Tabla 1 Apartado 401.04.02.01 Graduación de la combinación de agregados" de la Disposición Vial AM 01-2001.
<i>Espesor de la carpeta asfáltica colocada en la sección II:</i> Se comprobó que el espesor de 5 de los 38 núcleos extraídos tienen un espesor menor a 13 cm, establecidos en Diseño Estructural de Pavimentos propuesto para el Tramo Ciudad Colón-Orotina, enviado mediante oficio SJC-1818/09-09 del 2 de septiembre de 2009 por la Ing. Hadda Muñoz, gerente de proyecto. (ver páginas 23 a 26 del informe)	Diseño Estructural de Pavimentos. Autopista San José – Caldera. Volumen I y II. Sector Escazú - Caldera. Elaborado por Gauss S.A. Servicios Especializados de Ingeniería Vial S.A. Sección de Tramo 2, estacionamientos del 14+025 al 51+720
Observaciones	
Descripción	Norma técnica de referencia
<i>La granulometría presenta riesgo de incumplimiento</i> Como resultado del análisis de los resultados se observó que el porcentaje de agregado que pasa las mallas de ½", N° 4 y N° 8, se encuentran en el límite inferior de especificación y que el porcentaje de agregado que pasa las mallas N° 30, N° 50 y N° 200, se encuentran en el límite superior de especificación superior. (ver páginas 27 a 29 del informe)	Tabla 1 Apartado 401.04.02.01 Graduación de la combinación de agregados" de la Disposición Vial AM-01-2001
<i>La variabilidad estadística de la granulometría de diseño es no significativa</i> Se estima que la variabilidad de los tamaños granulométricos no excede, en ninguno de los casos, el 10%, 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. (ver páginas 29 a 31 del informe)	Manual del SIECA "Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales" Disposición Vial AM-01-2001
<i>La variabilidad estadística de contenido de asfalto de la mezcla es significativa</i> Del análisis de los resultados, se concluye que la variabilidad del parámetro de contenido de asfalto es de un 15,33% mayor al 21% establecido en la Tabla 106-2 del Manual del SIECA, lo cual aumenta la probabilidad de que se incumpla con las especificaciones contractuales. (ver páginas 30 y 31 del informe)	Manual del SIECA "Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales" Disposición Vial AM-01-2001
<i>La variabilidad estadística del espesor de la carpeta asfáltica es significativa</i> El espesor de los núcleos, medidos in situ, presentan un porcentaje de incumplimiento de 29,19%, que es mayor al 17% definido en la sección 107 "Aceptación del Trabajo" del Manual del SIECA, por lo que se puede afirmar que la variabilidad de este parámetro es significativa. (ver páginas 32 y 33 del informe)	Manual del SIECA "Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales" y Diseño Estructural de Pavimentos. Autopista San José – Caldera. Volumen I y II. Sector Escazú - Caldera. Elaborado por Gauss S.A. Servicios Especializados de Ingeniería Vial S.A. Sección de Tramo 2, estacionamientos del 14+025 al 51+720.

INFORME DE
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-057-10

**Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica
en caliente producida y colocada
para carpeta asfáltica de rodadura**

**Proyecto de Concesión Carretera San José-Caldera,
Sección II: Ciudad Colón-Orotina**

Agosto 2010

INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA Evaluación de calidad de la mezcla asfáltica en caliente producida y colocada para completar carpeta asfáltica de rodadura
Departamento encargado del proyecto: Consejo Nacional de Concesiones CNC. Presupuesto oficial: US\$125.000.000 según sección 1.3 del Cartel de Licitación para el proyecto completo (San José-Caldera) Licitación Pública Internacional: N° 1-98 Plazo de ejecución Sección II (San José-Orotina): 30 meses según apartado 1.8.6 del contrato Longitud de Sección II: 38,8 km Área auditada: - Mezcla asfáltica producida para capa de rodadura de la Sección II en el tramo comprendido entre el PK 18+700 y el PK 42+300 - Carpeta asfáltica colocada en la Sección II en el tramo comprendido entre el PK 14+025 y el PK 51+720 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 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 la Sección II del proyecto de Concesión San José-Caldera
Referencias: - Periodo de toma de muestras de mezcla asfáltica en caliente: 17 de noviembre a 9 de diciembre de 2009. - Periodo de extracción de núcleos: 20 a 22 de enero de 2010 - Diseño de mezcla vigente, informe con identificación ITP-CSJC-0015-09 (aplicado en la planta de producción ubicada en Siquiara de Alajuela) - Informes de resultados de ensayo I-0036-10 entregado por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR a la auditoría técnica el 25 de enero de 2010 - Informes de resultados de ensayo I-0128-10 entregado por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR a la auditoría técnica el 25 de enero de 2010 - Normativa contractual: Cartel de licitación y Contrato de Concesión Proyecto San José-Caldera, Disposición Vial AM-01-2001 de normas y diseños para la construcción de carreteras y Diseño estructural de la carretera y documentos que forman parte integral del contrato.

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 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)

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.

1.3 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 capa de rodadura en la Sección II del proyecto de Concesión San José-Caldera, 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 de estructural de pavimentos enviado por la Ing. Hadda Muñoz mediante el oficio SJC-1818/09-09 del 2 de septiembre de 2009.

1.4 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. Esta mezcla asfáltica se utiliza para completar el espesor de la carpeta asfáltica de diseño para la Sección II del proyecto de Concesión San José-Caldera.

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

1.5 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO VIAL

1.5.1 Descripción del proyecto

El proyecto de concesión San José Caldera consta de tres secciones. La Sección I que inicia en la Sabana y termina en Ciudad Colón (localizada entre los estacionamientos del 0+000 al 14+025), la Sección II inicia en Ciudad Colón y finaliza en Orotina (localizada entre los estacionamientos del 14+025 al 51+720) y la Sección III que inicia en Orotina y termina en Caldera (localizada entre los estacionamientos 51+720 al 76+310).

En este informe se analiza la mezcla producida y colocada en la Sección II del proyecto.

1.5.2 Responsabilidades

En el proyecto participan diferentes entidades que asumen la responsabilidad de conceder el proyecto, ejecutar las labores de construcción y asumir las labores de supervisión e inspección.

Las responsabilidades administrativas y de supervisión del proyecto por parte de la Administración Concedente¹ son asumidas por el Consejo Nacional de Concesiones (CNC), Gerente de proyecto y Supervisora del proyecto.

La ejecución del proyecto es responsabilidad de la empresa concesionaria que distribuye su labor entre la concesionaria, la empresa constructora y sus respectivos encargados de control de calidad.

En el Anexo 1 se hace una descripción de cada uno de los involucrados en el proyecto, mencionados anteriormente. De igual manera en la Figura 1 se muestra la estructura funcional.

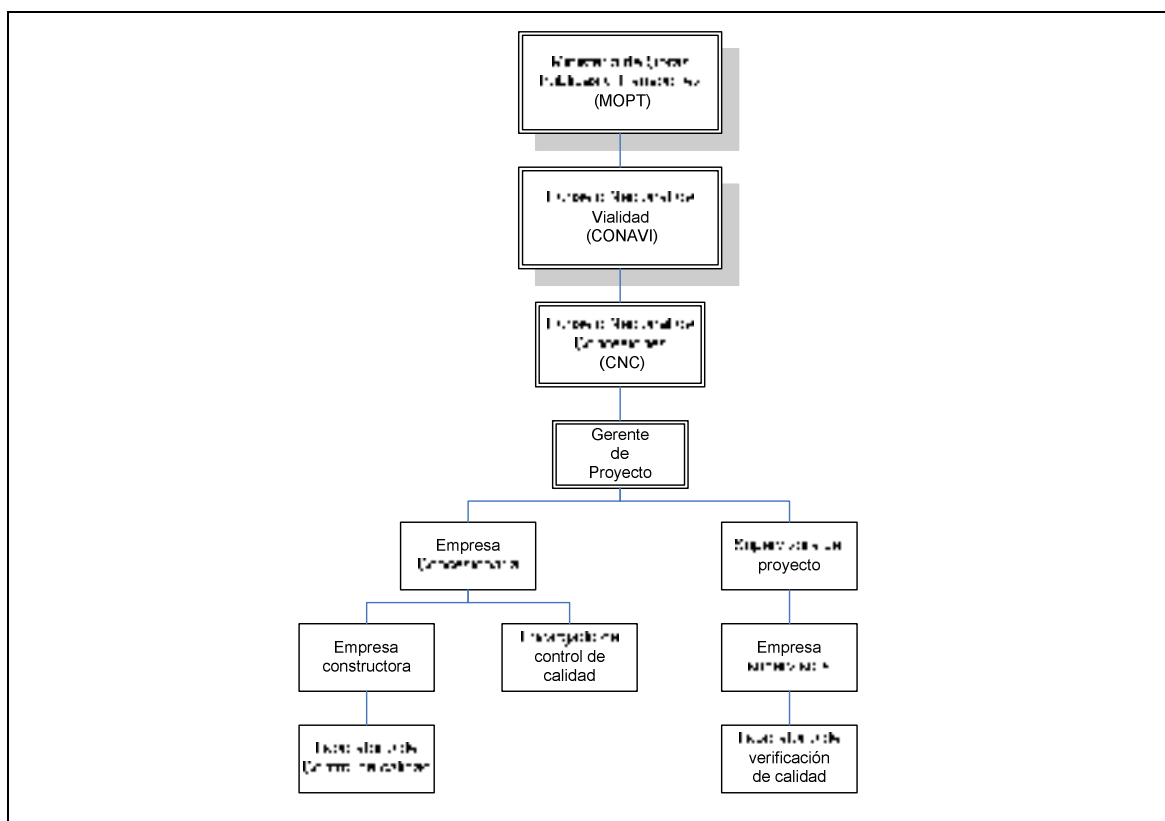


Figura 1. Estructura funcional del proyecto de concesión San José-Caldera

¹ Representada por el Poder Ejecutivo conformado por el Presidente de la República y el Ministro de Obras Públicas y Transportes

1.5.3 Prevalencia de documentos

A continuación se enlista la documentación del ordenamiento jurídico aplicable y que forma parte integral del contrato de Concesión de Obra Pública con servicio público “Proyecto Carretera San José- Caldera”:

- a) La Ley General de Concesión de Obras Públicas con Servicios Públicos y su Reglamento y las demás normas legales de aplicación supletoria.
- b) La Ley de Contratación Administrativa y su respectivo reglamento.
- c) La Ley General de la Administración Pública.
- d) El modelo tarifario y las tarifas aprobadas por la ARESEP mediante resolución de su Sesión Extraordinaria No. 180-2000 del 31 de enero del 2000, y mediante acuerdos del 01-180-2000 al 11-180-2000.
- e) El Cartel de la Licitación de precalificación de las empresas y los documentos presentados para estos efectos por el adjudicatario.
- f) El Cartel de Licitación, sus modificaciones y aclaraciones.
- g) 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.
- h) El acto de adjudicación de la Licitación.
- i) Los planos de construcción y rehabilitación de los tres tramos del proyecto, incluyendo sus correspondientes memorias de cálculo, una vez que hayan sido preparados por el Concesionario y aprobados por la Administración Concedente.
- j) Los planos de las marginales e intersecciones a construirse, una vez que hayan sido preparados por el Concesionario y aprobados por la Administración Concedente.
- k) Los planos de los puentes menores, una vez que hayan sido preparados por el Concesionario y aprobados por la Administración Concedente.
- l) Los planos de los puentes mayores.
- m) Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes (CR-77)²
- n) Las normas y diseños para la construcción de carreteras.
- o) El Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito.
- p) Revisión de Demanda para la Concesión del Proyecto Ciudad Colón-Orotina. Estudios de /Greiner/Ingetrans.
- q) Estudio de Impacto Ambiental Carretera Ciudad Colón - Orotina y los oficios de la SETENA y del Consejo Nacional de Concesiones relacionados con éste.

² La Disposición Vial AM-01-2001 actualiza las secciones 400.01 al 401.09 del capítulo 400 del CR -77.

- r) Cuestionario 545-98 FEAT presentado ante la SETENA para el proyecto de rehabilitación del tramo de la Carretera Próspero Fernández y Orotina-Caldera.
- s) Especificaciones especiales para la construcción de la vía y las estructuras.
- t) Revisión y Diseño de Pavimentos según el nuevo estudio de tránsito, una vez que hayan sido realizadas por el concesionario y aprobadas por la administración.
- u) Actas de inspección y entrega de obras existentes e Inventario de la Red Vial Relevante existente a la fecha de apertura de las ofertas del proceso de licitación para la Concesión de la carretera San José-Caldera.
- v) La documentación adicional derivada de la autorización de la cesión presentada por Autopistas del Sol S.A. y el Consorcio Autopistas del Sol y aprobada por la Administración.

1.5.4 Especificaciones Técnicas vigentes

A continuación se enlistan especificaciones que complementan la normativa técnica vigente que se detalla en el ordenamiento jurídico que forma parte del contrato de Concesión de Obra Pública con servicio público “Proyecto Carretera San José- Caldera” y que se utiliza para efectuar los análisis realizados en este informe:

- a) Manual de Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica (MC-83)
- b) Disposiciones para la Construcción y la Conservación Vial emitidas en octubre de 2002 que se detalla en la Tabla 1:

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

1.6 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 colocada en la segunda capa (capa de rodadura) de la carpeta asfáltica de la Sección II del proyecto de Concesión San José-Caldera por un periodo definido³. Las muestras fueron tomadas 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.

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

	Muestra	Fecha	PK
1	2980 -09	17/11/2009	35+000
2	3006 -09	18/11/2009	18+700
3	3022 -09	19/11/2009	18+950
4	3051 -09	23/11/2009	20+300
5	3063 -09	24/11/2009	27+750
6	3072 -09	25/11/2009	26+600
7	3073 -09	26/11/2009	26+300
8	3086 -09	27/11/2009	37+750
9	3094 -09	30/11/2009	42+300
10	3115 -09	01/12/2009	41+800
11	3117 -09	02/12/2009	33+100
12	3119 -09	03/12/2009	24+200
13	3142 -09	07/12/2009	32+540
14	3145 -09	08/12/2009	29+100
15	3157 -09	09/12/2009	31+600

³ Los días 17, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27 y 30 de noviembre y 01, 02, 03, 07, 08 y 09 de diciembre de 2009 se obtuvo muestra de la producción de mezcla asfáltica.

Cada estacionamiento para la toma de la muestra asfáltica fue elegido aleatoriamente por personal del LanammeUCR, equipo auditor o técnico del Laboratorio de Campo, en el sitio de colocación de carpeta asfáltica, según el avance de las labores constructivas.

La muestra fue obtenida de la extendedora de mezcla y cuarteada en sitio por el personal técnico⁴ del Laboratorio de Campo del LanammeUCR. La muestra de mezcla asfáltica correspondiente al LanammeUCR se compone de dos cuartos de la mezcla. Los dos cuartos restantes fueron tomados, como muestra testigo, por el representante de control de calidad de la empresa concesionaria.

Finalmente se completó un total de 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 contenido de asfalto (ASTM D-6307⁵/ASTM D-95⁶) y la composición granulométrica (ASTM D-5444⁷) 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 identificado como ITP-CSJC-0018-08, de acuerdo con Oficio SJC-162107-09 del 21 de julio de 2009 enviado por Hadda Muñoz en respuesta a esta auditoría. En la Tabla 3 se resumen los parámetros generales definidos en el diseño de mezcla asfáltica.

⁴ 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.

⁵ ASTM D-6307: "Contenido de asfalto de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método de ignición"

⁶ ASTM D-95: "Contenido de agua en petróleo y materiales bituminosos por destilación"

⁷ ASTM D-5444: "Análisis mecánico del agregado extraído"

Tabla 3. Parámetros generales del diseño de mezcla asfáltica según informe ITP-CSJC-0018-08

Parámetro	Valor
Contenido óptimo de asfalto	5,5 % (sobre el peso de mezcla)
Proporción de agregados	49 % (Fracción de finos) 38 % (Fracción de intermedios) 15 % (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 colocada en la Sección II del proyecto hasta el 19 de enero de 2010. La extracción de los núcleos la realizó el personal técnico del Laboratorio de Campo del LanammeUCR, encargado del muestreo, los días 20, 21 y 22 de enero del 2010, acompañados por los auditores designados al proyecto.

La estructura del pavimento que conforma el diseño estructural remitido al LanammeUCR mediante el oficio SJC-1818/09-09 del 2 de septiembre de 2009, se detalla en la Figura 2.

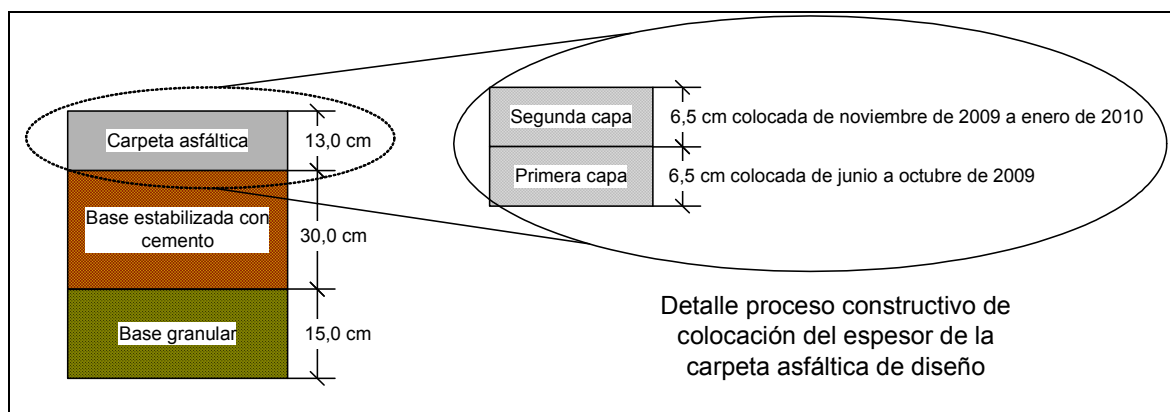


Figura 2. Paquete estructural aprobado para la Sección II presentado en el Volumen 2 del “Diseño Estructural de Pavimentos: Autopista San José-Caldera”

Para efectuar el análisis de espesores con respecto al diseño estructural definido para la Sección II, se estableció tomar una muestra por kilómetro procurando abarcar toda la longitud del proyecto. En total se tomaron 38 muestras alternando los sentidos de circulación (derecho e izquierdo).

Se eligió aleatoriamente el punto de la extracción del primer núcleo el estacionamiento PK 53+000⁸ procurando conservar, posteriormente, la relación de distancia de 1 km entre cada núcleo extraído por el LanammeUCR. Salvo en algunas excepciones en donde las condiciones de la carretera obligaran a trasladar el punto de extracción al PK más cercano posible. En la Tabla 4 se indican los estacionamientos donde se realizó la extracción de núcleos.

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

Nº de Núcleo	PK de extracción	Calzada
1	53+000	Derecha
2	52+100	Izquierda
3	51+100	Izquierda
4	50+100	Derecha
5	49+100	Derecha
6	48+050	Izquierda
7	47+120	Derecha
8	46+100	Derecha
9	45+100	Izquierda
10	42+500	Izquierda
11	41+300	Derecha
12	40+200	Izquierda
13	39+200	Derecha
14	38+200	Izquierda
15	37+200	Derecha
16	36+200	Izquierda
17	35+200	Derecha
18	34+200	Izquierda
19	33+200	Izquierda
20	32+200	Derecha

⁸ Este estacionamiento es correspondiente al punto inicial de la campaña de extracción de núcleos realizada por la constructora, la auditoría lo escoge como punto inicial para establecer un medio viable de comparación, en caso de ser necesario, de los núcleos obtenidos por el LanammeUCR, con los núcleos obtenidos de la campaña de la constructora. La cantidad de núcleos extraídos corresponde aproximadamente a una quinta parte de la cantidad de las muestras que extrajo el laboratorio de control de calidad de la empresa concesionaria

Tabla 4. Continuación...

Nº de Núcleo	PK de extracción	Calzada
21	31+200	Izquierda
22	30+050	Derecha
23	29+200	Izquierda
24	28+200	Derecha
25	27+200	Izquierda
26	26+200	Derecha
27	25+200	Izquierda
28	24+200	Derecha
29	23+200	Izquierda
30	22+200	Derecha
31	21+200	Izquierda
32	20+200	Derecha
33	19+200	Izquierda
34	18+200	Derecha
35	17+200	Izquierda
36	16+200	Derecha
37	15+200	Izquierda
38	14+200	Derecha

En cada sitio en donde el LanammeUCR extrajo un núcleo de carpeta asfáltica, con el fin de que los datos de contraste estuvieran referidos a la misma zona de extracción, los encargados del laboratorio de control de calidad de la empresa concesionaria extrajeron un núcleo contiguo a cada punto. En la Figura 3 se detalla la ubicación espacial de cada uno de los puntos donde el LanammeUCR extrajo un núcleo.

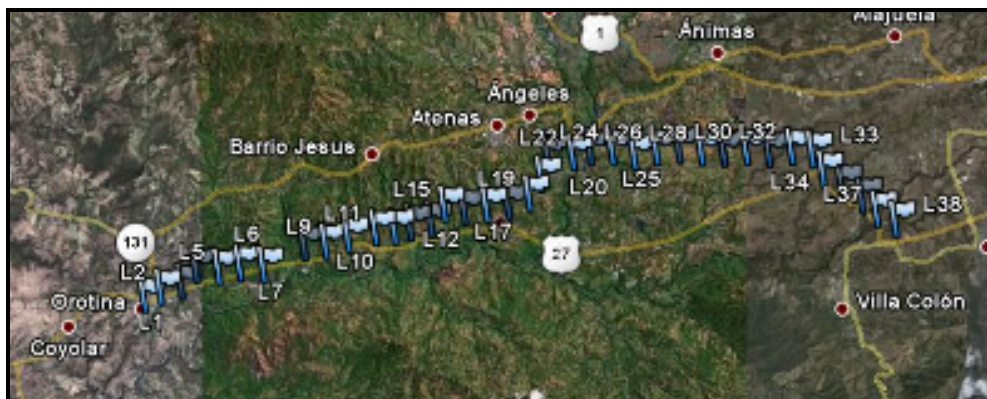


Figura 3. Ubicación de los puntos de extracción de núcleos.

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 y 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 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.

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

2.1.1 Sobre la mezcla asfáltica producida

Hallazgo N° 1: Se observa que 1 de las 15 muestras presentan un valor de contenido de asfalto mayor al límite superior permisible establecido en el documento y normas de referencia

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 determinado y vigente para la producción de la mezcla asfáltica en caliente, el valor óptimo de asfalto está definido como $5,5 \pm 0,5\%$ 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 $5,0 \%$ y $6,0 \%$.

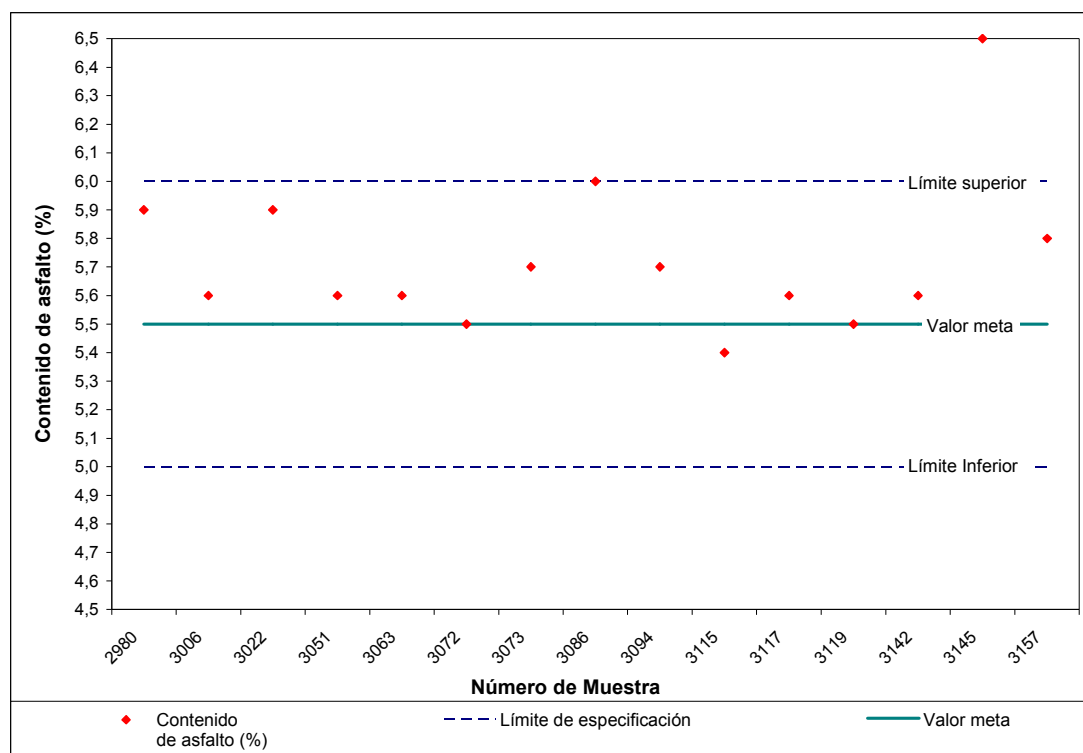


Figura 4. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica ensayadas.

Tabla 5. Resultados reportados en el informe de ensayo I-0036-10 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR el 25 de enero de 2010.

Muestra			Fecha	PK	Temperatura	Contenido (%)	
					(°C)	Agua	Asfalto
Límite inferior							4,8
Límite superior							5,8
1	2980	-09	17/11/2009	35+000	123,6	0,12	5,9
2	3006	-09	18/11/2009	18+700	152,5	0,29	5,6
3	3022	-09	19/11/2009	18+950	151,2	0,19	5,9
4	3051	-09	23/11/2009	20+300	153,3	0,46	5,6
5	3063	-09	24/11/2009	27+750	149,8	0,42	5,6
6	3072	-09	25/11/2009	26+600	149,9	0,40	5,5
7	3073	-09	26/11/2009	26+300	147,7	0,28	5,7
8	3086	-09	27/11/2009	37+750	150,1	0,24	6,0
9	3094	-09	30/11/2009	42+300	147,7	0,34	5,7
10	3115	-09	01/12/2009	41+800	142,1	0,16	5,4
11	3117	-09	02/12/2009	33+100	155,3	0,28	5,6
12	3119	-09	03/12/2009	24+200	156,9	0,16	5,5
13	3142	-09	07/12/2009	32+540	147,0	0,18	5,6
14	3145	-09	08/12/2009	29+100	157,0	0,47	6,5
15	3157	-09	09/12/2009	31+600	156,6	0,18	5,8
Promedio					149,4	0,28	5,7
Desv. Estándar					8,3	0,12	0,3

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en el Informe de Ensayo I-0036-10, se evidencia que 1 de los resultados de contenido de asfalto son mayores al límite superior permisible del rango establecido (ver Tabla 5 y Figura 4). Se denota que los resultados de contenido de asfalto de los restantes días de producción se encuentran entre el contenido óptimo de asfalto y el límite superior.

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 superficie de la carretera y otras propiedades mecánicas de la carretera.

Hallazgo N° 2: Algunos resultados reportados para las mallas ½" y N° 8, 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 los informes identificados como I-036-10 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial el 25 de enero del 2010.

Tabla 6. Resultados de composición granulométrica reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR mediante el informe I-036-10 recibido por la auditoría el 25 de enero del 2010.

Muestra			Fecha	PK	M allas									
					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 μm (N°30)	300 μm (N°50)	150 μm (N°100)	75 μm (N°200)
Límite superior ‡					100	90	70	45	28	16	9	5	-	2
Límite inferior ‡					100	100	90	65	39	26	19	16	-	8
1	2980	-09	17/11/2009	35.000	100,0	96,1	79,9	52,3	33,9	22,90	16,46	12,00	8,99	6,60
2	3006	-09	18/11/2009	18.700	100,0	95,2	83,3	56,8	35,6	22,87	16,24	11,76	8,68	6,55
3	3022	-09	19/11/2009	18.950	100,0	94,2	80,7	54,1	33,8	21,93	15,56	11,26	8,45	6,21
4	3051	-09	23/11/2009	20.300	100,0	94,0	81,6	53,7	33,9	22,38	16,11	11,65	8,47	6,29
5	3063	-09	24/11/2009	27.750	100,0	92,6	77,9	51,5	33,0	21,43	14,83	10,38	7,48	5,34
6	3072	-09	25/11/2009	26.600	100,0	92,0	74,0	49,6	32,1	21,06	14,88	10,56	7,61	5,61
7	3073	-09	26/11/2009	26.300	100,0	94,2	76,6	50,4	33,7	22,72	16,15	11,52	8,37	6,09
8	3086	-09	27/11/2009	37.750	100,0	89,0	78,6	54,3	34,2	21,49	14,87	10,36	7,31	5,34
9	3094	-09	30/11/2009	42.300	100,0	91,0	72,0	48,4	27,9	17,25	12,47	9,78	7,97	6,13
10	3115	-09	01/12/2009	41.800	100,0	90,4	75,4	49,6	31,2	19,99	13,85	9,51	6,44	4,52
11	3117	-09	02/12/2009	33.100	100,0	94,1	79,9	50,6	32,3	21,51	15,12	10,64	7,64	5,45
12	3119	-09	03/12/2009	24.200	100,0	93,2	80,5	49,9	33,3	22,85	16,65	11,84	8,21	5,84
13	3142	-09	07/12/2009	32.540	100,0	92,7	78,1	53,7	36,1	24,49	17,54	12,30	8,55	5,84
14	3145	-09	08/12/2009	29.100	100,0	89,9	77,5	53,2	33,4	21,82	15,84	11,49	8,29	6,07
15	3157	-09	09/12/2009	31.600	100,0	94,1	83,1	54,1	37,0	25,03	17,98	12,54	8,51	6,05
Promedio					100,0	92,8	78,6	52,1	33,4	22,0	15,6	11,2	8,1	5,9
Desv. Estándar					0,0	2,0	3,2	2,4	2,1	1,8	1,4	0,9	0,7	0,5

‡ 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 dos de los resultados reportados para la malla ½" y un resultado correspondiente a la malla

Nº 8 se encuentran por debajo del límite inferior definido en la especificación para la granulometría de diseño aplicada (tamaño máximo nominal de 12,5 mm) establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001, para las muestras (3086, 3094 y 3145)-10.

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.

La proximidad existente de los valores, cercana a los límites especificados en un porcentaje aproximado o menor al 1%, aumenta el riesgo de incumplir con las especificaciones contractuales como resultado de la variabilidad inherente del proceso productivo.

En las Figuras 7 y 8 que se adjuntan en el *Anexo 2*, 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 ½” y Nº8 respectivamente.

2.1.2 Sobre la mezcla asfáltica colocada

Hallazgo Nº 3: Se comprobó que 5 de los 38 núcleos extraídos tienen un espesor menor a 13 cm.

La auditoría técnica, con el propósito de aplicar el mismo procedimiento de selección de puntos de extracción utilizado para la extracción de núcleos de la primera capa, define extraer un núcleo por kilómetro con el propósito de contar con una muestra representativa.

El Diseño Estructural de Pavimentos⁹ propuesto para el Tramo Ciudad Colón-Orotina establece en el apartado 4.2 del Volumen II colocar un espesor de carpeta asfáltica de 13 cm cuando se use base estabilizada. Esta auditoría observó en el sitio de obra que dicho espesor se colocó en un proceso constructivo de dos capas, con un espesor aproximado de 6,5 cm, cada una. La colocación de la primera capa se realizó durante la primera etapa del proyecto, en el periodo comprendido entre junio a octubre y posteriormente una segunda capa a finales del mes de noviembre y durante el mes de diciembre de 2009.

⁹ Diseño Estructural de Pavimentos. Autopista San José – Caldera. Volumen I y II. Sector Escazú - Caldera. Elaborado por Gauss S.A. Servicios Especializados de Ingeniería Vial S.A. Sección de Tramo 2, estacionamientos del 14+025 al 51+720, aportado mediante el oficio SJC-1818/09-09 del 02 de septiembre de 2009 enviado al LanammeUCR por la ing. Hadda Muñoz del CNC.

El diseño estructural de pavimentos fue enviado al Director del LanammeUCR mediante el oficio SJC-1818/09-09 del 2 de septiembre de 2009 por la Ing. Hadda Muñoz, gerente de proyecto.

Durante el proceso de extracción de los núcleos, se determinó el espesor de la capa de asfalto total presente en cada uno de estos, en la Tabla 7 se resumen los resultados obtenidos en el sitio.

Tabla 7. Resultados del espesor de los núcleos extraídos de la carpeta asfáltica de la Sección II del proyecto de concesión san José-Caldera reportados por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR mediante el Informe I-0128-10 recibido por la auditoría el 17 de febrero de 2010

Nº de Núcleo	Estacionamiento (PK) de extracción	Calzada	Espesor total de carpeta ^δ (cm)
1	53+000	Izquierda	11,0
2	52+100	Derecha	14,0
3	51+100	Izquierda	15,0
4	50+100	Derecha	15,0
5	49+100	Izquierda	14,0
6	48+050	Derecha	12,0
7	47+120	Izquierda	15,5
8	46+100	Derecha	14,0
9	45+100	Izquierda	14,0
10	42+500	Izquierda	13,5
11	41+300	Derecha	12,8
12	40+200	Izquierda	13,2
13	39+200	Derecha	14,5
14	38+200	Izquierda	13,8
15	37+200	Derecha	13,5
16	36+200	Izquierda	15,0
17	35+200	Derecha	15,2
18	34+200	Izquierda	12,6
19	33+200	Derecha	13,0
20	32+200	Izquierda	14,5
21	31+200	Derecha	16,5
22*	30+050	Izquierda	15,5

Tabla 7. Continuación...

Nº de Núcleo	Estacionamiento (PK) de extracción	Calzada	Espesor total de carpeta ^δ (cm)
23	29+200	Derecha	16,0
24	28+200	Izquierda	11,0
25	27+200	Derecha	13,5
26	26+200	Izquierda	14,1
27	25+200	Derecha	15,6
28	24+200	Izquierda	18,0
29	23+200	Derecha	16,3
30	22+200	Izquierda	14,9
31	21+200	Derecha	13,8
32	20+200	Izquierda	14,6
33	19+200	Derecha	16,0
34	18+200	Izquierda	20,0
35	17+200	Derecha	13,7
36*	16+100	Izquierda	13,5
37	15+200	Derecha	16,6
38	14+200	Izquierda	13,5

* Puntos reubicados porque el punto de muestreo estaba sobre puentes

^δ El espesor total de la carpeta asfáltica es de 13 cm, según se establece en el diseño estructural del pavimento

De los resultados incluidos en la Tabla 7 se puede evidenciar que 5 de las 38 muestras analizadas presentan resultados menores a 13,0 cm, específicamente los núcleos extraídos en los estacionamientos 53+000, 48+050, 41+300, 34+200 y 28+200. Se debe tener en cuenta que cada una de estas muestras analizadas representa el tramo de la carpeta asfáltica colocada durante la jornada de trabajo, la cual consistió usualmente en un día.

Al analizar los resultados de espesor de todos los núcleos extraídos durante los días 20, 21 y 22 de enero que se detallan en la Tabla 7 se puede determinar que el espesor promedio de la carpeta asfáltica es de 14,5 cm y la desviación estándar de las mediciones es menor al 15% del promedio.

Además se puede afirmar que 23 de 38 de los datos tienen valores de espesor mayor a o igual a 14 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.

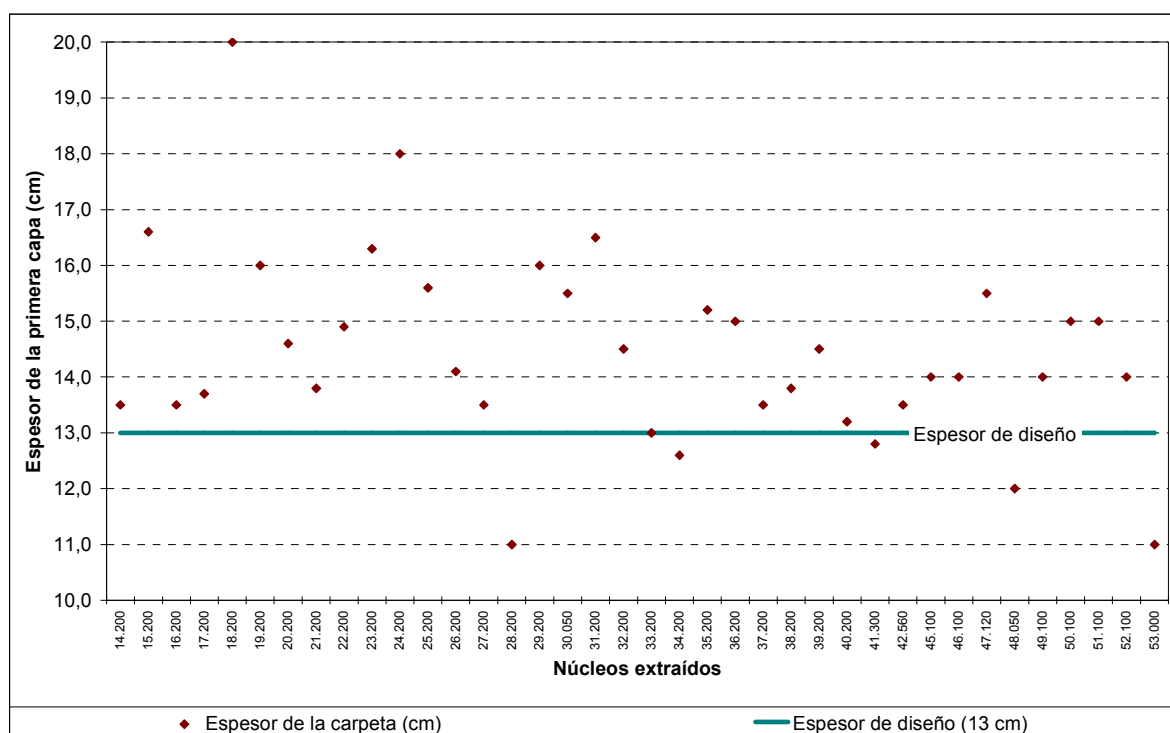


Figura 5. Gráfico que ilustra el comportamiento de los datos de espesor medido de los núcleos extraídos de la carpeta asfáltica colocada en la Sección II

El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: *Diseño Estructural de Pavimentos. Autopista San José – Caldera. Volumen I y II. Sector Escazú - Caldera. Elaborado por Gauss S.A. Servicios Especializados de Ingeniería Vial S.A. Sección de Tramo 2, estacionamientos del 14+025 al 51+720.*

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.

2.2 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 del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”, con el propósito de demostrar la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en el control de procesos de producción

2.2.1 Sobre el diseño de la mezcla asfáltica

Observación N° 1: El diseño de mezcla del informe ITP-CSJC-0015-09, presenta riesgo de incumplimiento de las especificaciones contractuales para las mallas $\frac{1}{2}$, N° 4, N° 8, N° 30, N° 50 y N° 200.

Con el propósito de corroborar que la granulometría de diseño propuesta en el informe de diseño de mezcla ITP-CSJC-0018-08 cumple con las tolerancias 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.

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 del rango de especificación tal como se detalla en la Tabla 8. Para el caso de la malla N° 30 el límite inferior del rango calculado coincide con el límite inferior de especificación. Además el límite superior del rango de diseño coincide con el rango superior de los límites de especificación para las mallas N° 30, N° 50 y N° 200.

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.

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.*

Tabla 8. Granulometría del diseño de mezcla asfáltica de acuerdo con informe ITP-CSJC-0015-09

Mallas	Rango de especificación (1)	Tolerancia de granulometría (1) (2)	Granulometría de diseño	Rango de diseño (3)
$\frac{3}{4}$ (19,1 mm)	100	-----	100	100
$\frac{1}{2}$ (12,5 mm)	90 – 100	± 5	93	88 – 98
$\frac{3}{8}$ (9,5 mm)	70 – 90	± 5	77	72 – 82
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 μ m)	9 – 19	± 4	15	11 – 19
Nº 50 (300 μ m)	5 – 16	± 4	12	8 – 16
Nº 200 (75 μ m)	2 – 8	± 2	6,1	4,1 – 8,1

(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.

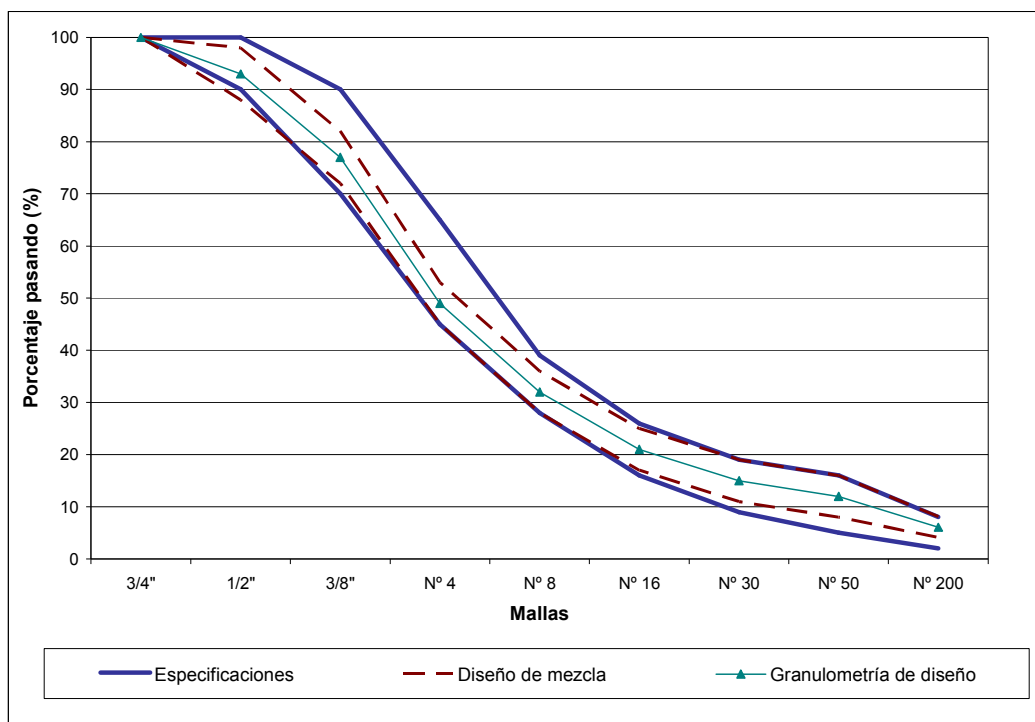


Figura 6. Gráfico comparativo de granulometría de diseño de mezcla, rango de diseño y límites de especificación según la Disposición Vial AM-01-2001

2.2.2 Sobre la variabilidad estadística de la mezcla asfáltica producida

Observación N° 2: Se determina que existe variabilidad no significativa¹⁰ en los datos de tamaño granulométrico 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.

¹⁰ Variabilidad no significativa implica que, estadísticamente, la probabilidad de cumplimiento es baja

Por esta razón, como parte de la auditoría, se realiza una evaluación estadística de los resultados de la mezcla asfáltica obtenidos de las muestras tomadas por el personal técnico del LanammeUCR, aplicando el procedimiento establecido en la sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”, (ver *Anexo 5*), 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 6, 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.

Aplicando la Tabla 106-2 de la sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”, considerando los parámetros como categoría II, se puede definir que para un conjunto de 15 datos, la variabilidad máxima permitida (porcentaje fuera de los límites de especificación) es de un 21% para considerar que el parámetro analizado, y por ende la mezcla asfáltica producida, posee una calidad aceptable, lo cual implica que el restante 79% del conjunto de datos debería mantenerse dentro de los límites de especificación. En la Tabla 9 se detalla el resultado 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
Malla $\frac{3}{4}$ "	--	--	--	--
Malla $\frac{1}{2}$ "	1,40	3,51	9,02%	90,98%
Malla $\frac{3}{8}$ "	2,69	3,56	0,73%	99,27%
Malla N° 4	3,03	5,45	0,44%	99,56%
Malla N° 8	2,53	2,59	0,15%	99,85%
Malla N° 16	3,28	2,20	1,98%	98,02%
Malla N° 30	4,78	2,42	1,47%	98,53%
Malla N° 50	6,75	5,28	0,01%	99,99%
Malla N° 200	7,13	3,95	0,07%	99,93%
Contenido Asfalto	3,42	0,27	15,63%	84,37%

Del análisis de los resultados que se presentan en la Tabla 9, se concluye que la variabilidad del parámetro de contenido de asfalto es menor a la aceptable 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 de un 15,63% menor al 21% establecido en la Tabla mencionada, lo cual disminuye la probabilidad de que se incumpla con las especificaciones contractuales.

De igual manera se observa que la variabilidad de los tamaños granulométricos no excede, en ninguno de los casos, el 10%, 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.

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

2.2.3 Sobre la variabilidad estadística de la mezcla asfáltica colocada

Observación N° 3: Se determina que el espesor de la mezcla asfáltica colocada presentan una variabilidad significativa¹¹.

Como parte del control estadístico que sería recomendable aplicar al proceso constructivo, se analiza la variabilidad en cuanto a dimensión de espesor de la mezcla asfáltica colocada, evaluando la variabilidad de los resultados obtenidos de los núcleos extraídos de la primera capa de la carpeta asfáltica, mediante estimadores estadísticos.

Para ello se utiliza como referencia el procedimiento detallado en el procedimiento establecido en la sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”.

En el apartado 4.2 del Volumen II del diseño estructural de pavimentos enviado al LanammeUCR mediante el oficio SJC-1818/09-09 del 2 de septiembre del 2009, se establece que el espesor de carpeta asfáltica a colocar es de 13 cm. En el diseño estructural no se establece un espesor máximo de carpeta asfáltica, por esta razón la evaluación del porcentaje de cumplimiento se efectúa con respecto al límite inferior, únicamente.

Aplicando la Tabla 106-2 de la sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”, considerando los parámetros como categoría II, se puede definir que para un conjunto de 38 datos, la variabilidad máxima permitida (porcentaje fuera de los límites de especificación) es de un 17%, para considerar que el producto posee una calidad aceptable, lo cual implica que el restante 83% del conjunto de datos debe mantenerse dentro de los límites de especificación. Los índices de calidad estimados para el parámetro de espesor se indican en la Tabla 10.

Tabla 10. Índices de calidad y variabilidad de los resultados de los núcleos extraídos de la primera capa 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
Espesor	0,82	0,00	29,19%	70,81%

¹¹ Variabilidad significativa se refiere a que la probabilidad de incumplimiento es alta.

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 29,19%, que es mayor al 17% definido en la sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”, por lo que se puede afirmar que la variabilidad de este parámetro es significativa.

Normativa técnica que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación: *Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales” y Diseño Estructural de Pavimentos. Autopista San José – Caldera. Volumen I y II. Sector Escazú - Caldera. Elaborado por Gauss S.A. Servicios Especializados de Ingeniería Vial S.A. Sección de Tramo 2, estacionamientos del 14+025 al 51+720.*

3. 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 1 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 $\pm 0,5\%$), incumpliendo lo establecido en las especificaciones contractuales.
- b. Se evidencia que los tamaños granulométricos 12,5 mm, N° 4 y N° 8 presentan una cercanía al límite inferior de especificación y al límite superior de especificación en los tamaños granulométricos N° 30, N° 50 y N° 200, lo cual genera un riesgo de incumplimiento de las especificaciones
- c. La variabilidad estadística del parámetro de contenido de asfalto es no significativa (presenta una probabilidad estadística de incumplimiento baja) para el tamaño de muestra utilizado.
- d. Dos de los 15 resultados reportados para la malla $\frac{1}{2}$ " y uno de los 15 reportados para la malla N° 8 son menores al límite inferior de especificación para la granulometría de diseño aplicada (tamaño máximo nominal de 12,5 mm), incumpliendo con lo que se establece en las especificaciones contractuales
- e. Se determina que la variabilidad es estadísticamente no significativa para ninguno de los tamaños granulométricos, lo cual implica que la probabilidad de incumplimiento de las especificaciones contractuales como producto de la variabilidad del proceso es baja.
- f. De acuerdo con los resultados de espesor medidos en la carpeta asfáltica colocada, se pudo determinar 5 de los 38 núcleos extraídos tienen un espesor de carpeta asfáltica menor a los 13 cm incumpliendo con el espesor mínimo establecido en el diseño estructural, sin embargo la mayoría de núcleos extraídos (23 de los 38 núcleos) tiene un espesor igual o mayor a 14 cm.

- g. 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 mucho mayores al establecido en el diseño contractual e incluso que se obtengan espesores menores al mismo a los 13 cm.

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 concesión.

- 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. Detallar 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 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.

Firmas del equipo auditor

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

Inga. 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. Descripción de cada uno de los responsables que forman parte de la estructura funcional del proyecto.

Administración Concedente: Representada por el Poder Ejecutivo conformado por el Presidente de la República y el Ministro de Obras Públicas y Transportes encargada de conceder el proyecto así como de la aprobación de planos y documentos. Actúa por medio del Consejo Nacional de Concesiones (CNC).

Consejo nacional de concesiones (CNC): representante de la Administración, está conformado por la secretaría técnica y dependencias subordinadas.

Gerente de proyecto: Designado por la Administración para el desarrollo del contrato. Es el responsable del proyecto y el enlace entre el CNC y el Concesionario. Debe coordinar la ejecución del proyecto en todas sus etapas y aprobar los documentos presentados por el Concesionario.

Supervisora del proyecto: Equipo técnico conformado por funcionarios de la Secretaría de Concesiones, del Ministerio de Obras Públicas (MOPT) y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), asesorado por Consorcio Euroestudios S.L. e IMNSA Ingenieros Consultores S.A. y posteriormente por la empresa CACISA S.A. Es responsable de revisar los documentos presentados por el Concesionario, verificar que el concesionario cuenta con todos los permisos establecidos y la comprobación del cumplimiento de los requisitos y especificaciones establecidos en el contrato y además debe emitir las recomendaciones al Gerente de Proyecto en los aspectos relativos al diseño, construcción y mantenimiento de las obras y otras especialidades de la ingeniería de carreteras y también es responsable de ejecutar los ensayos de verificación de calidad a los materiales y productos que se incorporan al proyecto.

Concesionario: Responsable de presentar los planos de construcción y rehabilitación del proyecto, incluyendo memorias de cálculo, los planos de las marginales e intersecciones a construirse, los de los puentes menores y los planos de los puentes mayores a la Administración concedente, para que sean aprobados por ésta. Es el Consorcio Autopistas del Sol S.A. conformado por las empresas P.I. Promotora de Infraestructuras S.A., Itinere CR Valle del Sol S.A., Infraestructuras SDC Costa Rica S.A. y M&S DI-M&S Desarrollos Internacionales S.A.

Empresa Constructora: Empresa contratada por la Concesionaria para encargarse de las labores de construcción de la carretera y las obras complementarias de drenajes,

taludes y seguridad vial. La empresa constructora destacada en este proyecto es la Constructora San José Caldera SA CSJC.

Encargados de control de calidad: Empresa encargada de las actividades de control de calidad por parte de la empresa concesionaria.

Laboratorio de control de calidad: laboratorio de la empresa constructora encargado de tomar las muestras y ejecutar los ensayos a los materiales y productos que se incorporan al proyecto.

Anexo 2. Gráficos de los resultados de los ensayos de granulometría realizados a las muestras de mezcla asfáltica

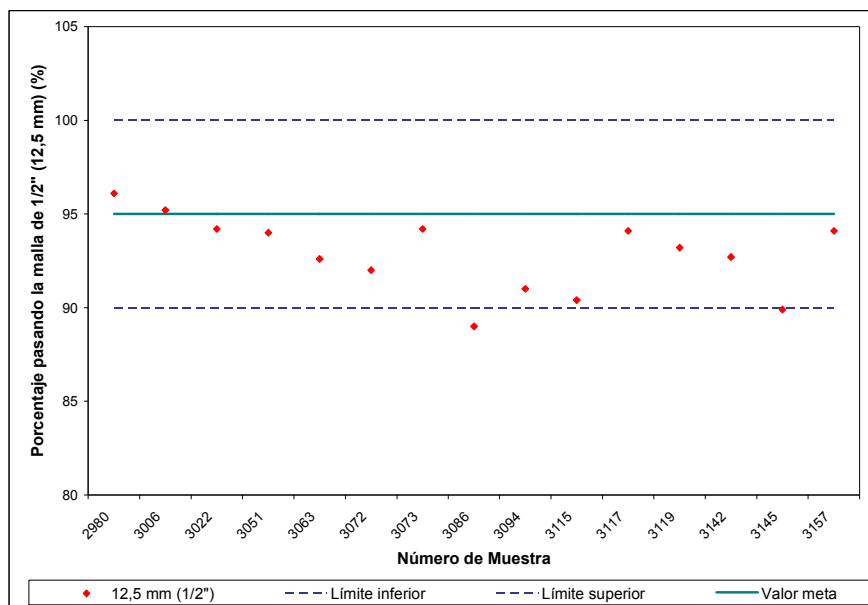


Figura 7. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla de 1/2" (12,5 mm)

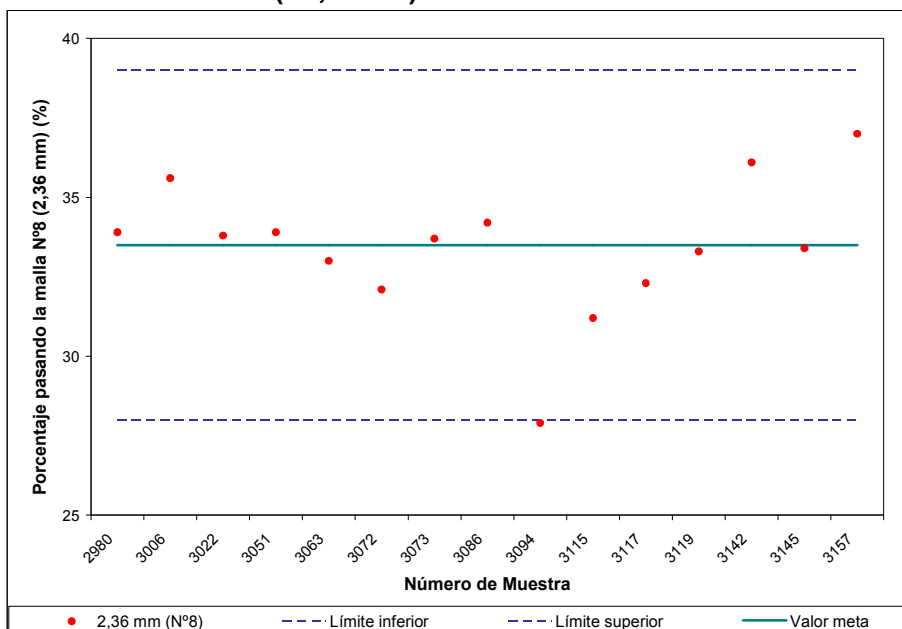


Figura 8. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 8 (2,36 mm)

Anexo 3. Informe de Ensayo I-0036-10

Anexo 4. Informe de Ensayo I-0128-10

**Anexo 5. Sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA
“Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes
regionales”**