

**INFORME  
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA  
LM-AT-247-09**

**EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA  
EN CALIENTE PRODUCIDA Y COLOCADA  
SECCIÓN II: CIUDAD COLÓN-OROTINA  
PROYECTO DE CONCESIÓN SAN JOSÉ -CALDERA**

**DICIEMBRE 2009**

## TABLA DE CONTENIDO

1. Objetivo de las auditorías técnicas.....	4
1.1 Objetivo específico.....	4
2. Información General.....	4
3. Observaciones .....	10
3.1 Sobre el diseño de mezcla.....	10
3.2 Sobre la mezcla asfáltica producida.....	11
3.3 Sobre la variabilidad estadística de la mezcla asfáltica producida.....	15
3.4 Sobre la mezcla asfáltica colocada.....	17
3.5 Sobre la variabilidad de la mezcla asfáltica colocada .....	23
4. Conclusiones sobre la calidad de la mezcla asfáltica producida.....	26
ANEXOS.....	29

**“EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE  
PRODUCIDA Y COLOCADA, SECCIÓN II: CIUDAD COLÓN-OROTINA  
PROYECTO DE CONCESIÓN SAN JOSÉ -CALDERA”**

**Departamento encargado del proyecto:** Concejo Nacional de Concesiones CNC.

**Licitación Pública Internacional:** N° 1-98

**Periodo de construcción Sección II:** Febrero 2008 a Julio 2010 (30 meses)

**Área auditada:**

- Mezcla asfáltica fabricada para la Sección II en la planta de producción de la Constructora Sacyr.
- Mezcla asfáltica colocada en la primera capa de la carpeta asfáltica de la Sección II.

**Coordinadora de Auditoría Técnica:** Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc. Eng.

**Audidores:** Ingenieros Ellen Rodríguez Castro y Víctor Cervantes Calvo

**Asesor Legal Externo:** Lic. Miguel Chacón Alvarado

**Alcance de la auditoría:**

- Evaluación de algunos parámetros de calidad de la mezcla asfáltica en caliente y del proceso de compactación mediante el análisis de las muestras de mezcla asfáltica tomadas y los núcleos extraídos de la primera capa 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: 9 de septiembre a 1° de octubre de 2009.
- Periodo de extracción de núcleos para chequeos de compactación: 20 a 21 de octubre de 2009.
- Diseño de mezcla vigente, informe con identificación ITP-CSJC-0015-09 (aplicado en la planta de producción ubicada en Siquiara de Alajuela)
- Diseño de mezcla vigente, informe con identificación ITP-CSJC-0018-09 (aplicado en la planta de producción ubicada en Orotina de Alajuela).
- Informes de resultados de ensayo I-0965-09, I-0985-09 y el I-1044-09 emitido por LanammeUCR
- 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 documentos que forman parte integral del contrato.

## **1. Objetivo de las auditorías técnicas**

El objetivo de las auditorías técnicas efectuadas por el LanammeUCR, es identificar oportunidades de mejora de aspectos técnicos durante una o varias de las diferentes etapas que abarca un proyecto vial, a saber: planificación, diseño y especificaciones, cartel y proceso licitatorio, ejecución y finiquito, que les permitan a las autoridades indicadas en la Ley N° 8114, conocer el estado de dichos proyectos, con la finalidad de que la Administración defina acciones correctivas que subsanen los aspectos identificados y acciones preventivas para aminorar la recurrencia de los casos señalados.

Los comentarios emitidos en este informe, tienen como propósito principal aportar elementos técnicos de la producción de mezcla asfáltica en caliente y del proceso de compactación de la carpeta asfáltica a la Administración, para que sean valorados e integrados dentro del proceso de mejora continua que forma parte de los sistemas de gestión de calidad.

### **1.1 Objetivo específico**

Evaluar mediante ensayos de laboratorio y valorar estadísticamente con relación a lo que se establece en la normativa contractual, algunas de las características más relevantes de la mezcla asfáltica que se produce y coloca en la Sección II del proyecto de Concesión San José-Caldera, a saber: contenido de asfalto, graduación de la mezcla, núcleos de carpeta colocada para verificación de espesor y densidad.

## **2. Información General**

Durante el proceso de auditoría realizado por la Auditoría Técnica del LanammeUCR se tomaron muestras de la mezcla asfáltica en caliente colocada en la primera capa, de dos capas a ser colocadas, de la carpeta asfáltica de la Sección II del proyecto de Concesión San José-Caldera para efectuar el análisis en laboratorio, dicha mezcla era suministrada por la planta de producción de la Constructora Sacyr, ubicada en Siquiara de Alajuela.

En la Tabla 1 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.

Las actividades llevadas a cabo por el equipo de auditoría, consistieron en visitar las instalaciones de la planta productora el día 9 de septiembre y posteriormente por un periodo definido<sup>1</sup> se obtuvo muestra de mezcla asfáltica en el sitio de colocación con el apoyo del personal técnico del laboratorio de muestreo en campo del LanammeUCR<sup>2</sup>.

**Tabla 1. Detalle de los estacionamientos (PK) en los cuales se tomaron las muestras de mezcla asfáltica en caliente.**

	Muestra	Fecha	PK
1	2235 -09	09/09/2009	Planta1
2	2236 -09	09/09/2009	19+230
3	2237 -09	09/09/2009	19+190
4	2260 -09	10/09/2009	17+600
5	2262 -09	10/09/2009	17+800
6	2287 -09	16/09/2009	22+800
7	2288 -09	16/09/2009	22+600
8	2339 -09	17/09/2009	21+950
9	2340 -09	17/09/2009	22+050
10	2360 -09	18/09/2009	22+500
11	2361 -09	18/09/2009	22+750
12	2366 -09	19/09/2009	22+850
13	2395 -09	21/09/2009	49+080
14	2437 -09	23/09/2009	31+250
15	2445 -09	28/09/2009	31+200
16	2497 -09	25/09/2009	0+1402
17	2508 -09	01/10/2009	0+240
18	2509 -09	01/10/2009	0+570

<sup>1</sup>La muestra se tomó de la góndola de la vagoneta en la planta de producción.

<sup>2</sup>La muestra se tomó en la Rampa A del intercambio de Siquiares.

En cada visita se eligió de manera aleatoria un estacionamiento para la toma de la muestra de mezcla asfáltica, dicho muestreo se realizó de forma conjunta con los

<sup>1</sup> Los días 09, 10, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 25 y 28 de setiembre y 01 de octubre de 2009 se obtuvo muestra de la producción de mezcla asfáltica.

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

representantes de la empresa concesionaria. La mezcla fue obtenida durante el proceso de colocación y se subdividió utilizando un cuarteador mecánico de agregados que fue aportado por el laboratorio de control de calidad de la empresa concesionaria. Dos cuartos de la mezcla fueron entregados al representante de control de calidad de la empresa concesionaria y las otras dos correspondían a la muestra que se analizó en el laboratorio del LanammeUCR.

Finalmente se completó un total de 18 muestras de la mezcla asfáltica producida, las cuales fueron posteriormente ensayadas en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). Los ensayos realizados consistieron en determinar el valor del contenido de asfalto (ASTM D-6307<sup>3</sup>/ASTM D-95<sup>4</sup>) y la composición granulométrica (ASTM D-5444<sup>5</sup>) 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-0015-09, de acuerdo con lo manifestado por los representantes de la concesionaria. Los parámetros generales definidos en el diseño de mezcla se resumen en la Tabla 2.

**Tabla 2. Parámetros generales del diseño de mezcla asfáltica según informe ITP-CSJC-0015-09**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Contenido óptimo de asfalto	5,3 % (sobre el peso de mezcla)
Proporción de agregados	53 % (Fracción de finos) 25 % (Fracción de intermedios) 22 % (Fracción de gruesos)
Granulometría de diseño	12,5 mm

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

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

<sup>5</sup> ASTM D-5444: "Análisis mecánico del agregado extraído"

Además de la toma de muestras de mezcla asfáltica en caliente, se realizó una extracción de núcleos de la primera capa de la carpeta asfáltica colocada en la Sección II del proyecto hasta el 18 de septiembre del 2009.

La extracción de los núcleos se efectuó los días 20 y 21 de octubre del 2009, con la colaboración de personal técnico del laboratorio de muestreo de campo del LanammeUCR.

Para efectuar el análisis de espesores y del nivel de compactación (densidad) alcanzado en las labores de colocación de la carpeta y ser corroborados con la especificación nacional aplicable se estableció tomar una cantidad de treinta muestras de densidad de compactación de la carpeta asfáltica (núcleos) en la totalidad de la longitud del tramo II del proyecto San José Caldera, los cuales se distribuyeron en forma alterna en ambos carriles (derecho e izquierdo) de circulación. En el Anexo 2 se detalla el método utilizado para definir el tamaño de muestra.

Los tramos y el estacionamiento de la calzada seleccionados para la extracción de los núcleos, fueron escogidos previamente, de forma aleatoria, por el equipo auditor tomando como base la información aportada por la empresa concesionaria a través del oficio SJC-1887-09-09. Durante todo el proceso de muestreo de núcleos se contó con la presencia de un representante de la empresa concesionaria. En la Tabla 3 se indican los estacionamientos elegidos para la extracción, así como el punto de extracción.

**Tabla 3. Detalle de los estacionamientos (PK) en los cuales se extrajeron los núcleos de la primera capa de la carpeta asfáltica de la Sección II.**

Nº de Núcleo	Tramo seleccionado		PK de extracción	Calzada
	Estacionamiento (PK) Inicial	Estacionamiento (PK) Final		
1A	16+400	16+950	16+650	Derecha
2A	16+400	16+950	16+650	Izquierda
3A	17+260	17+540	17+300	Izquierda
4A	17+500	17+850	17+600	Derecha
5A	21+850	22+250	22+000	Derecha
6A	21+850	22+250	22+000	Izquierda
7A	22+250	22+750	22+500	Derecha
8A	23+800	24+540	24+000	Derecha
9A	23+800	24+540	24+500	Izquierda
10A	25+900	27+200	26+800	Izquierda

Nº de Núcleo	Tramo seleccionado		PK de extracción	Calzada
	Estacionamiento (PK) Inicial	Estacionamiento (PK) Final		
11A	25+900	27+200	26+800	Derecha
12A	30+900	31+300	31+100	Izquierda
13A	31+400	31+980	31+700	Derecha
13C	31+400	31+980	32+000	Derecha
13E	31+400	31+980	31+960	Derecha
14A	32+010	32+750	32+300	Izquierda
15A	37+300	37+700	37+300	Derecha
16A	37+700	38+300	37+700	Derecha
17A	37+700	38+600	38+100	Izquierda
18A	40+760	41+800	41+000	Derecha
19A	40+760	41+800	41+000	Izquierda
20A	41+340	41+600	41+500	Izquierda
21A	41+500	42+000	41+800	Izquierda
22A	42+100	42+500	42+300	Derecha
22C	42+100	42+500	42+280	Derecha
22E	42+100	42+500	42+320	Derecha
23A	42+660	43+100	43+000	Derecha
24A	43+600	43+800	43+700	Derecha
25A	43+600	43+800	43+700	Izquierda
26A	50+400	51+150	51+000	Derecha
27A	51+120	51+780	51+400	Izquierda
28A	51+150	52+300	52+000	Izquierda
29A	51+789	52+300	52+300	Derecha
30A	51+789	52+300	52+300	Izquierda

En cada uno de los puntos de extracción se tomaron dos núcleos, las muestras identificadas como A se destinaron para ser ensayadas en el laboratorio del LanammeUCR y las muestras identificadas como B se entregaron a los representantes de la empresa concesionaria.

Además de los núcleos detallados en la Tabla anterior, se tomaron también núcleos en el tramo ubicado entre los estacionamientos 38+600 y 39+920 en una configuración en forma de "L" para medir la variabilidad del patrón de compactación tanto longitudinalmente, así como transversalmente con una separación de 50 metros entre cada núcleo, en ambos sentidos. De igual manera se extrajeron



dos muestras por punto identificándolas como A y B. Las primeras se destinaron para ser ensayadas en el laboratorio del LanammeUCR y las segundas se entregaron a los representantes de la empresa concesionaria. En la Tabla 4 se detallan los puntos de extracción de éstos núcleos

**Tabla 4. Detalle de los estacionamientos (PK) en los cuales se extrajeron los núcleos en configuración de “L” de la primera capa de la carpeta asfáltica de la Sección II.**

Nº de Núcleo	Estacionamiento		PK de extracción	Calzada
	Inicio	Final		
<b>L</b>	<b>38+600</b>	<b>39+920</b>		<b>Izquierda</b>
L1A			39+300	
L2A			39+250	
L3A			39+200	
L4A			39+300	
L5A			39+300	

### 3. Observaciones

A continuación se detallan las observaciones evidenciadas por los auditores como producto de la visita efectuada y de los análisis de los resultados de las muestras ensayadas:

#### 3.1 Sobre el diseño de mezcla.

**Observación N° 1: La tolerancia de la fórmula de trabajo cumple con las especificaciones contractuales, sin embargo existe riesgo de incumplimiento en las mallas ½, N° 4, N° 16, N° 30 y N° 50.**

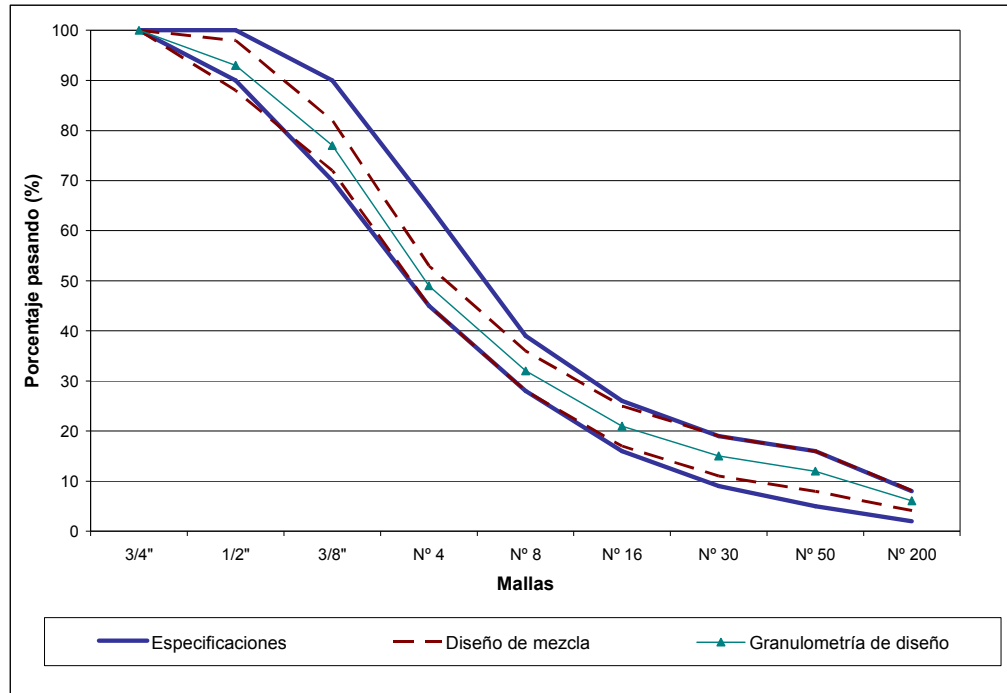
Se analiza la granulometría de diseño establecida en el informe ITP-CSJC-0015-09 con el propósito de compararla con las tolerancias especificadas para la “Graduación de la combinación de agregados” en la Tabla 1 de la Disposición AM-01-2001. En la Figura 1 se muestra gráficamente el comportamiento de la granulometría de diseño y la tolerancia correspondiente, contrastadas con los límites de especificación mencionados.

Al evaluar el cumplimiento de la tolerancia de la combinación granulométrica del diseño de mezcla utilizado (ver Figura 1), se puede evidenciar que el porcentaje pasando para las mallas ½ y N° 4 se encuentran sobre el límite inferior del rango de especificación tal como se detalla en la Tabla 5. Además, las tolerancias de la mallas N° 16, N° 30 y N° 50, se encuentran sobre el límite de especificación superior.

**Tabla 5. Granulometría del diseño de mezcla asfáltica de acuerdo con informe ITP-CSJC-0015-09**

Mallas	Granulometría de diseño	Tolerancias del diseño‡	Rango de especificación‡
¾ (19,1 mm)	100	100	100
½ (12,5 mm)	95	90 – 100	90 – 100
⅜ (9,5 mm)	79	74 – 84	70 – 90
N° 4 (4,75 mm)	50	46 – 54	46 – 65
N° 8 (2,36 mm)	34	30 – 38	28 – 39
N° 16 (1,18 mm)	22	18 – 26	16 – 26
N° 30 (600 µm)	15	11 – 19	9 – 19
N° 50 (300 µm)	12	8 – 16	5 – 16
N° 200 (75 µm)	5,0	3 – 7	2 – 8

‡ 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.



**Figura 1. Gráfico comparativo de granulometría de diseño de mezcla, tolerancias y límites de especificación según la Disposición Vial AM-01-2001**

Es conveniente tener presente que dicha cercanía entre los límites podría representar un riesgo potencial de incumplimiento de la tolerancia, al considerar la variabilidad propia del proceso de producción.

*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.*

### **3.2 Sobre la mezcla asfáltica producida.**

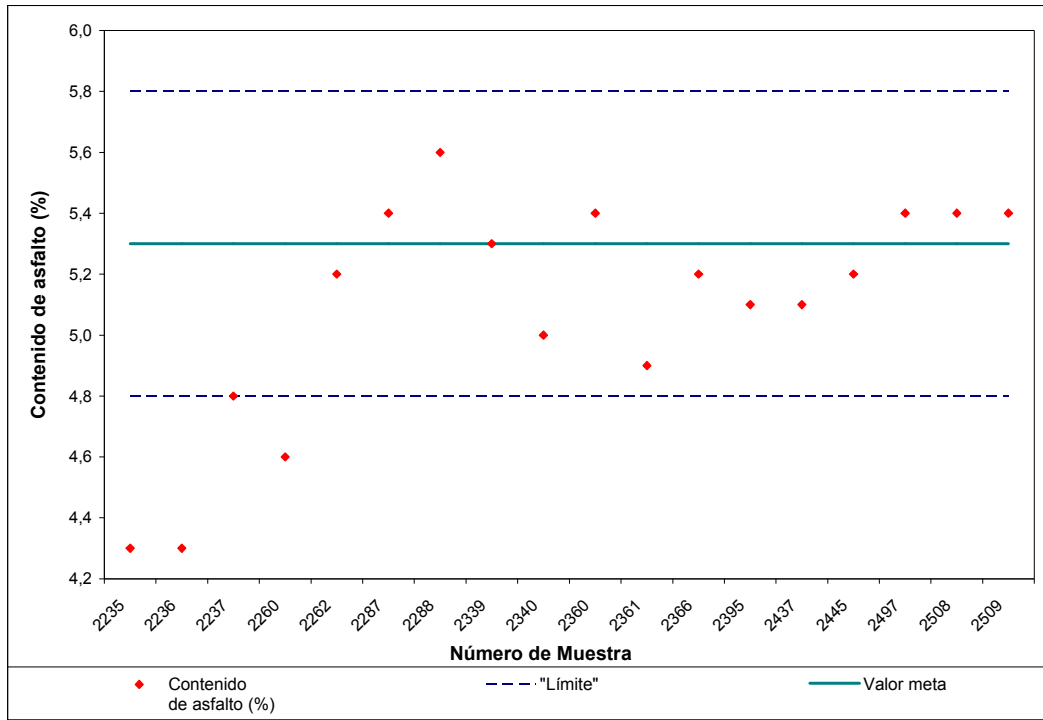
**Observación N° 2: Se observa que 3 de las 18 muestras presentan un valor de contenido de asfalto menor al límite inferior establecido en las especificaciones contractuales.**

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 planta de Sacyr, ubicada en Siquiara de Alajuela, el valor óptimo de asfalto está definido como  $5,3 \pm 0,5\%$  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 4,8% y 5,8%.

**Tabla 6. Resultados reportados en el informe de ensayo I-0965-09 y el informe de ensayo I-0985-09 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR.**

Muestra	Fecha	PK	Temperatura	Contenido (%)		
			(°C)	Agua	Asfalto	
<i>Límite inferior</i>					4,8	
<i>Límite superior</i>					5,8	
1	2235 -09	09/09/2009	Planta	161,4	0,16	<b>4,3</b>
2	2236 -09	09/09/2009	19+230	158,0	0,18	<b>4,3</b>
3	2237 -09	09/09/2009	19+190	160,0	0,16	4,8
4	2260 -09	10/09/2009	17+600	143,7	0,18	<b>4,6</b>
5	2262 -09	10/09/2009	17+800	162,5	0,14	5,2
6	2287 -09	16/09/2009	22+800	160,2	0,14	5,4
7	2288 -09	16/09/2009	22+600	----	0,14	5,6
8	2339 -09	17/09/2009	21+950	162,2	0,20	5,3
9	2340 -09	17/09/2009	22+050	162,3	0,14	5,0
10	2360 -09	18/09/2009	22+500	159,7	0,20	5,4
11	2361 -09	18/09/2009	22+750	131,8	0,16	4,9
12	2366 -09	19/09/2009	22+850	159,5	0,20	5,2
13	2395 -09	21/09/2009	49+080	155,0	0,20	5,1
14	2437 -09	23/09/2009	31+250	152,2	0,10	5,1
15	2445 -09	28/09/2009	31+200	145,1	0,19	5,2
16	2497 -09	25/09/2009	Rampa	140,1	0,18	5,4
17	2508 -09	01/10/2009	240	155,5	0,20	5,4
18	2509 -09	01/10/2009	570	155,7	0,18	5,4
<b>Promedio</b>				<b>154,4</b>	<b>0,17</b>	<b>5,1</b>
<b>Desv. Estándar</b>				<b>9,0</b>	<b>0,03</b>	<b>0,4</b>



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

Al realizar el análisis de los resultados de ensayo reportados en los Informes de Ensayos I-0965-09 e I-0985-09, correspondientes a las muestras de mezcla asfáltica tomadas en el periodo indicado, se evidencia que 3 de los resultados de contenido de asfalto son menores que el límite inferior permisible del rango establecido. (ver Tabla 6 y Figura 2). Sin embargo se denota que los resultados de contenido de asfalto de los restantes días de producción se encuentran dentro de los límites permisibles del rango de contenido óptimo de asfalto de trabajo.

***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.***

Si la cantidad de asfalto es menor a la requerida por la mezcla, es posible que exista una cantidad insuficiente de asfalto para formar la película que debe cubrir el agregado, lo cual puede afectar la durabilidad de la mezcla durante su vida de operación. Además, la carencia de asfalto podría afectar las propiedades volumétricas finales de la mezcla asfáltica compactada, tales como vacíos, asfalto efectivo y relación polvo asfalto.

**Observación N° 3: Varios resultados reportados para las mallas ¾", ½", N°8, N°16 y N°30 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 7. Dichos resultados corresponden al ensayo ASTM D-5444 "Análisis mecánico del agregado extraído" que realizó el laboratorio del LanammeUCR y los cuales fueron reportados en los informes identificados como I-0965-09 e I-0985-09 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial.

**Tabla 7. Resultados de composición granulométrica reportados por el LanammeUCR.**

Muestra	Fecha	PK	Mallas											
			25 mm (1")	19 mm (¾")	12,5 mm (½")	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)	
<b>Límite superior ‡</b>				<b>100</b>	<b>90</b>	<b>70</b>	<b>45</b>	<b>28</b>	<b>16</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	-	<b>2</b>	
<b>Límite inferior ‡</b>				<b>100</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>65</b>	<b>39</b>	<b>26</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	-	<b>8</b>	
1	2235 -09	09/09/2009	Planta	100,0	100,0	90,6	81,2	51,5	33,4	22,73	16,43	11,70	8,09	5,32
2	2236 -09	09/09/2009	19+230	100,0	100,0	94,2	81,4	52,3	36,1	25,32	18,75	13,41	9,10	6,33
3	2237 -09	09/09/2009	19+190	100,0	100,0	91,7	83,6	54,2	36,0	24,85	17,93	12,66	8,90	6,20
4	2260 -09	10/09/2009	17+600	100,0	100,0	95,5	84,3	56,1	38,1	25,90	18,80	13,31	9,22	6,28
5	2262 -09	10/09/2009	17+800	100,0	100,0	91,2	79,0	49,5	34,0	23,87	17,77	12,67	8,61	6,08
6	2287 -09	16/09/2009	22+800	100,0	100,0	93,3	81,6	53,1	36,4	25,41	18,60	13,24	9,17	6,26
7	2288 -09	16/09/2009	22+600	100,0	100,0	94,8	83,7	54,2	36,9	25,74	18,88	13,57	9,38	6,68
8	2339 -09	17/09/2009	21+950	100,0	100,0	94,4	85,8	58,7	38,8	<b>26,39</b>	19,00	13,30	9,09	6,09
9	2340 -09	17/09/2009	22+050	100,0	100,0	92,9	82,0	49,0	<b>27,0</b>	16,49	11,87	8,83	6,59	4,85
10	2360 -09	18/09/2009	22+500	100,0	100,0	94,2	85,0	56,2	37,2	25,53	18,75	13,59	9,66	6,61
11	2361 -09	18/09/2009	22+750	100,0	100,0	<b>87,0</b>	74,2	47,6	33,0	23,86	18,29	13,82	10,15	7,61
12	2366 -09	19/09/2009	22+850	100,0	100,0	91,4	82,0	51,6	34,1	23,26	17,19	12,44	8,73	6,26
13	2395 -09	21/09/2009	49+080	100,0	100,0	93,4	84,2	54,2	36,7	25,37	18,82	13,63	9,47	6,67
14	2437 -09	23/09/2009	31+250	100,0	100,0	91,3	76,6	46,2	32,4	23,25	17,26	12,58	9,15	6,53
15	2445 -09	28/09/2009	31+200	100,0	100,0	92,6	78,6	52,3	37,8	<b>27,13</b>	<b>20,39</b>	14,78	10,24	7,24
16	2497 -09	25/09/2009	Rampa	100,0	100,0	94,2	79,6	51,4	33,8	22,86	16,86	12,72	9,72	7,15
17	2508 -09	01/10/2009	240	100,0	100,0	95,3	80,8	52,0	36,8	25,69	18,91	13,57	9,39	6,60
18	2509 -09	01/10/2009	570	100,0	<b>99,1</b>	94,9	80,7	51,7	36,8	25,34	18,09	12,49	8,48	5,64
<b>Promedio</b>				<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>92,9</b>	<b>81,4</b>	<b>52,3</b>	<b>35,3</b>	<b>24,4</b>	<b>17,9</b>	<b>12,9</b>	<b>9,1</b>	<b>6,4</b>
<b>Desv. Estándar</b>				<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>2,1</b>	<b>3,0</b>	<b>3,1</b>	<b>2,8</b>	<b>2,3</b>	<b>1,8</b>	<b>1,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>

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

De los resultados presentados en la Tabla 7 se determina que el 78% de las muestras analizadas cumplen satisfactoriamente con el rango de granulometría permitido por la especificación de diseño, sin embargo los resultados reportados para las mallas  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ", N°8, N°16 y N°30 rebasan 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, para las muestras (2509, 2361, 2340, 2339, 2445)-09, no obstante cabe destacar que el 83% de estos valores se encuentran cercanos a los límites especificados, en un porcentaje aproximado o menor al 1%.

En las Figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11, 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 comportamiento, en el periodo de análisis, de los tamaños granulométricos para las mallas de  $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°200 respectivamente.

***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.*

### **3.3 Sobre la variabilidad estadística de la mezcla asfáltica producida**

**Observación N°4: Se determina una variabilidad significativa para los tamaños granulométricos N°16 y N°30.**

La evaluación estadística de la calidad de los parámetros definidos en la etapa de diseño durante el proceso de producción de mezcla asfáltica, es una actividad fundamental de los sistemas de gestión de calidad porque permite identificar y corregir desviaciones del proceso, determinar tendencias en el comportamiento de los parámetros en el tiempo, prevenir incumplimientos de las especificaciones establecidas y tomar decisiones oportunas con el fin de mejorar la eficiencia de la producción, entre otros aspectos.

Es por esta razón que en la producción de mezcla asfáltica, al igual que en cualquier otro proceso productivo, deben analizarse los resultados de control y verificación de calidad que se emiten, mediante herramientas estadísticas con el propósito de determinar la confiabilidad del proceso y el nivel de calidad de la mezcla asfáltica.

Con el fin de valorar la variabilidad del proceso productivo de la mezcla asfáltica se aplica el procedimiento establecido en la sección 107 "Aceptación del Trabajo" del Manual del SIECA "Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes

regionales”, que se adjunta en el Anexo 5.

Los índices de calidad ( $Q_L$  y  $Q_U$ ) se estiman a partir de los resultados de ensayo mostrados en la Tabla 7, 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 y 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 parámetros de comparación los valores indicados en la Disposición Vial AM-01-2001, para cada uno de los parámetros analizados. En la Tabla 8 se detalla el resultado del análisis realizado.

**Tabla 8. Índices de calidad y variabilidad de los resultados de la mezcla asfáltica analizada.**

Índice de calidad Parámetro	$Q_i$	$Q_s$	Variabilidad	
			Fuera de los límites de especificación	Dentro de los límites de especificación
Malla 3/4”	--	--	--	--
Malla 1/2 “	1,38	3,31	9,08%	90,92%
Malla 3/8”	3,80	2,89	0,43%	99,57%
Malla Nº 4	2,37	4,10	1,46%	98,54%
Malla Nº 8	2,61	1,33	9,21%	90,79%
Malla Nº 16	3,58	0,69	<b>24,91%</b>	<b>75,09%</b>
Malla Nº 30	5,02	0,61	<b>27,60%</b>	<b>72,40%</b>
Malla Nº 50	6,44	2,52	1,10%	98,90%
Malla Nº 200	6,61	2,49	1,16%	98,84%
Contenido Asfalto	0,76	1,88	18,92%	81,08%

Aplicando la Tabla 106-2 de la 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 18 datos, la variabilidad máxima permitida (porcentaje fuera de los límites de especificación) es de un 20%, para considerar que el producto posee una calidad aceptable, lo cual implica que el restante 80% del conjunto de datos



debe mantenerse dentro de los límites de especificación.

Del análisis de los resultados que se presentan en la Tabla 8, se concluye que la variabilidad de los parámetros de los tamaños granulométricos N° 16 y N° 30 es mayor 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".

### **3.4 Sobre la mezcla asfáltica colocada**

**Observación N° 5: Se comprobó que en 2 de las 30 secciones analizadas, las muestras de espesores de núcleos presentan resultados menores a 5,0 cm.**

La selección de la ubicación de cada uno de los sitios de extracción de núcleos de la primera capa de la carpeta asfáltica colocada en la sección II del proyecto, se realiza con base en la unidad de población definida como la longitud del tramo correspondiente a la cantidad de toneladas colocadas durante cada día de producción de mezcla asfáltica, para cada una de las dos plantas de producción dispuestas por el concesionario, considerando que la cantidad de toneladas totales de producción diaria son homogéneas.

Los sitios de muestreo se definen aplicando métodos estadísticos aleatorios, seleccionando inicialmente para cada uno de los días de producción determinados la longitud de colocación y su ubicación en el sentido de avance (carril izquierdo o derecho). Posteriormente de manera aleatoria se determina el estacionamiento y la ubicación a lo ancho del carril en donde se extraerá la muestra para determinación de espesor y densidad, completando un total de 15 muestras en cada sentido.

Durante el proceso de toma y extracción de los núcleos, se determinó el espesor de la capa de asfalto y base presente en cada uno de estos, en la Tabla 9 se resumen los resultados obtenidos en el sitio.

De acuerdo con lo manifestado por los representantes de la constructora, se propuso colocar el espesor de capa final para la carpeta asfáltica de 13 cm, establecido en el diseño estructural para la sección II (14+025 a 51+720) del proyecto San José Caldera, en dos capas con un espesor de 6,5cm, cada una. Colocando una primera capa durante esta etapa del proyecto, y la segunda capa a finales del mes de noviembre.

**Tabla 9. Resultados del espesor de los núcleos extraídos de la primera capa de la carpeta asfáltica reportados por el LanammeUCR en Informe I-1044-09.**

Nº de Núcleo	Tramo seleccionado		Estacionamiento (PK) de extracción	Calzada	Espesor de carpeta (cm)
	Estacionamiento (PK) Inicial	Estacionamiento (PK) Final			
1A	16+400	16+950	16+650	Derecha	9,7
2A	16+400	16+950	16+650	Izquierda	10,5
3A	17+260	17+540	17+300	Izquierda	7,7
4A	17+500	17+850	17+600	Derecha	9,5
5A	21+850	22+250	22+000	Derecha	7,2
6A	21+850	22+250	22+000	Izquierda	6,7
7A	22+250	22+750	22+500	Derecha	8,3
8A	23+800	24+540	24+000	Derecha	6,3
9A	23+800	24+540	24+500	Izquierda	7,3
10A	25+900	27+200	26+800	Izquierda	6,0
11A	25+900	27+200	26+800	Derecha	6,2
12A	30+900	31+300	31+100	Izquierda	8,5
13A	31+400	31+980	31+700	Derecha	<b>4,5</b>
14A	32+010	32+750	32+300	Izquierda	6,5
15A	37+300	37+700	37+300	Derecha	7,5
16A	37+700	38+300	37+700	Derecha	8,8
17A	37+700	38+600	38+100	Izquierda	8,8
18A	40+760	41+800	41+000	Derecha	7,5
19A	40+760	41+800	41+000	Izquierda	6,5
20A	41+340	41+600	41+500	Izquierda	6,0
21A	41+500	42+000	41+800	Izquierda	6,0
22A	42+100	42+500	42+300	Derecha	<b>4,7</b>
23A	42+660	43+100	43+000	Derecha	6,5
24A	43+600	43+800	43+700	Derecha	7,0
25A	43+600	43+800	43+700	Izquierda	7,5
26A	50+400	51+150	51+000	Derecha	8,5
27A	51+120	51+780	51+400	Izquierda	8,5
28A	51+150	52+300	52+000	Izquierda	7,5
29A	51+789	52+300	52+300	Derecha	9,5
30A	51+789	52+300	52+300	Izquierda	8,5

De los resultados incluidos en la Tabla 9 se puede evidenciar que en 2 de las 30 secciones analizadas, las muestras de espesores de núcleos presentan resultados

menores a 5,0 cm, específicamente en las secciones localizadas entre los estacionamientos 31+400 a 31+980 y entre 42+100 y 42+500, siendo representadas por los núcleos N° 13A y 22A, respectivamente. Para corroborar el espesor existente en la carpeta asfáltica se repite la extracción de núcleos en las secciones referidas, localizando cada una de estas muestras a 20 metros antes y 20 metros después del punto original, con el fin de examinar el comportamiento del espesor a lo largo de estas secciones. En la Tabla 10 se resumen los resultados obtenidos.

**Tabla 10. Resultados del espesor para la comprobación de las núcleos N° 13A y 22A.**

N° de Núcleo	Tramo seleccionado		Estacionamiento (PK) de extracción	Calzada	Espesor de carpeta (cm)
	Estacionamiento (PK) Inicial	Estacionamiento (PK) Final			
13C	31+400	31+980	32+000	Derecha	4,3
13E	31+400	31+980	31+960	Derecha	3,9
22C	42+100	42+500	42+280	Derecha	4,0
22E	42+100	42+500	42+320	Derecha	5,8

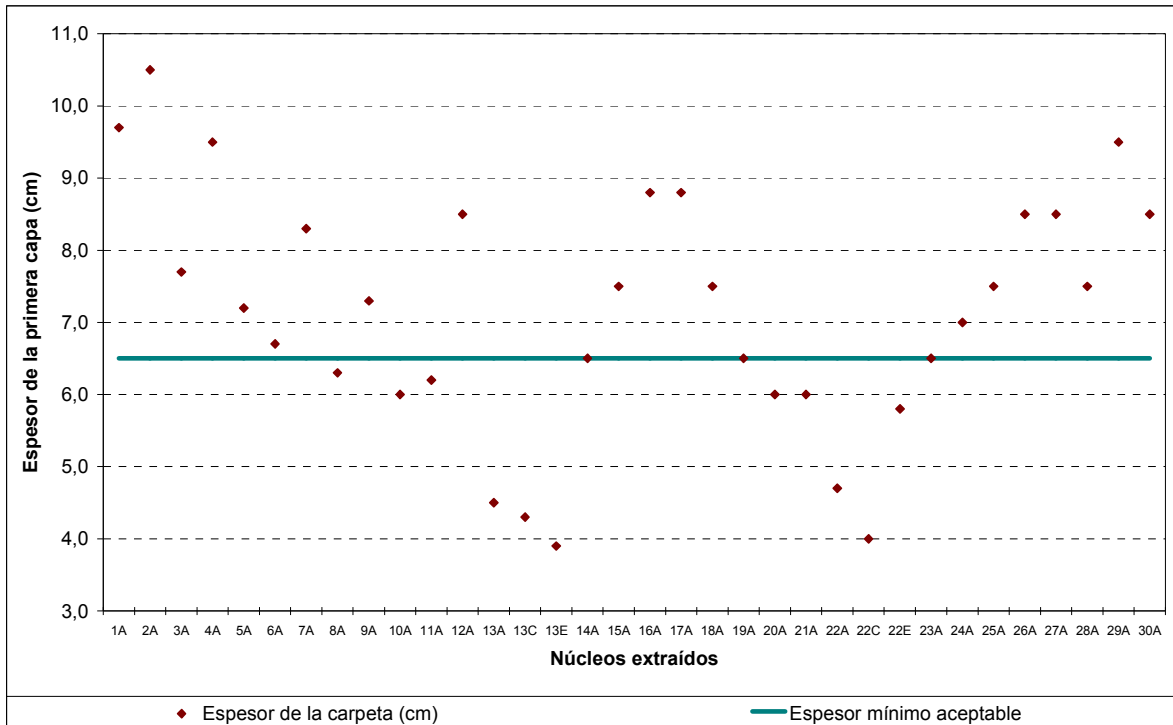
Se puede apreciar en la tabla anterior que el espesor de los núcleos de las secciones localizadas entre los estacionamientos 31+400 a 31+980 y entre 42+100 y 42+500 alcanzan resultados de espesores de capa menores a los 6,5 cm, en una longitud de aproximadamente de 40 metros.

Al analizar los resultados de espesor todos los núcleos extraídos durante los días 20 y 21 de octubre que se detallan en la Tabla 9 y la Tabla 10, se puede determinar que el espesor promedio de la primera capa es de 7,1 cm y la desviación estándar de las mediciones, aún incluyendo las muestras repetidas, es menor al 25% del promedio.

Además se puede determinar que el 32% (11 de 34) de los datos tienen valores de espesor menores a 6,5 cm, el restante 68% muestran espesores mayores a 6,5 cm, llegando a alcanzar espesores con mediciones superiores a 8 cm en 9 secciones de los 32 kilómetros analizados.

**Tabla 11. Resultados del espesor de todos los núcleos extraídos de la primera capa de la carpeta asfáltica reportados por el LanammeUCR en Inf I-1044-09.**

Nº de Núcleo	Tramo seleccionado		Estacionamiento (PK) de extracción	Calzada	Espesor de carpeta (cm)
	Estacionamiento (PK) Inicial	Estacionamiento (PK) Final			
1A	16+400	16+950	16+650	Derecha	9,7
2A	16+400	16+950	16+650	Izquierda	10,5
3A	17+260	17+540	17+300	Izquierda	7,7
4A	17+500	17+850	17+600	Derecha	9,5
5A	21+850	22+250	22+000	Derecha	7,2
6A	21+850	22+250	22+000	Izquierda	6,7
7A	22+250	22+750	22+500	Derecha	8,3
8A	23+800	24+540	24+000	Derecha	<b>6,3</b>
9A	23+800	24+540	24+500	Izquierda	7,3
10A	25+900	27+200	26+800	Izquierda	<b>6,0</b>
11A	25+900	27+200	26+800	Derecha	<b>6,2</b>
12A	30+900	31+300	31+100	Izquierda	8,5
13A	31+400	31+980	31+700	Derecha	<b>4,5</b>
13C	31+400	31+980	32+000	Derecha	<b>4,3</b>
13E	31+400	31+980	31+960	Derecha	<b>3,9</b>
14A	32+010	32+750	32+300	Izquierda	6,5
15A	37+300	37+700	37+300	Derecha	7,5
16A	37+700	38+300	37+700	Derecha	8,8
17A	37+700	38+600	38+100	Izquierda	8,8
18A	40+760	41+800	41+000	Derecha	7,5
19A	40+760	41+800	41+000	Izquierda	6,5
20A	41+340	41+600	41+500	Izquierda	<b>6,0</b>
21A	41+500	42+000	41+800	Izquierda	<b>6,0</b>
22A	42+100	42+500	42+300	Derecha	<b>4,7</b>
22C	42+100	42+500	42+280	Derecha	<b>4,0</b>
22E	42+100	42+500	42+320	Derecha	<b>5,8</b>
23A	42+660	43+100	43+000	Derecha	6,5
24A	43+600	43+800	43+700	Derecha	7,0
25A	43+600	43+800	43+700	Izquierda	7,5
26A	50+400	51+150	51+000	Derecha	8,5
27A	51+120	51+780	51+400	Izquierda	8,5
28A	51+150	52+300	52+000	Izquierda	7,5
29A	51+789	52+300	52+300	Derecha	9,5
30A	51+789	52+300	52+300	Izquierda	8,5
<b>Promedio</b>					<b>7,1</b>
<b>Desviación estándar</b>					<b>1,7</b>



**Figura 3. Gráfico que ilustra el comportamiento de los datos de espesor medido de los núcleos extraídos de la primera capa 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 el concesionario tome en consideración que existen zonas donde los espesores que se colocaron son menores al espesor de 6,5 cm que se estableció colocar en esta primera capa de colocación de carpeta, por lo cual se tendrá que ajustar el proceso constructivo y de colocación de la segunda capa para lograr alcanzar el espesor total de 13 cm de la carpeta asfáltica dispuesto según el diseño estructural para la sección II.

**Observación N° 6:** Se observa que solamente el 9% de todas las muestras (3 de 34) de densidad de compactación presentan resultados menores al 3% establecido en la Disposición Vial AM-01-2001.

Una vez extraídas las muestras de núcleos de la primera capa de la carpeta asfáltica, estas se ensayaron en el laboratorio del LanammeUCR para determinar la densidad de compactación (contenido de vacíos) alcanzado en sitio, en la Tabla 12 se resumen los resultados obtenidos en los ensayos los cuales se incluyen en el informe I-1044-09 que se adjunta en el Anexo 5.

**Tabla 12. Resultados del contenido de vacíos de compactación de los núcleos extraídos de la primera capa de la carpeta asfáltica.**

N° de Núcleo	Tramo seleccionado		Estacionamiento (PK) de extracción	Calzada	Gravedad específica bruta	Gravedad específica máxima teórica	Absorción de agua (%)	Porcentaje de vacíos (%)
	Estacionamiento (PK) Inicial	Estacionamiento (PK) Inicial						
1A	16+400	16+950	16+650	Derecha	2,415	2,463	0,7	1,9
2A	16+400	16+950	16+650	Izquierda	2,379	2,643	1,7	3,4
3A	17+260	17+540	17+300	Izquierda	2,424	2,472	0,9	1,9
4A	17+500	17+850	17+600	Derecha	2,341	2,468	1,1	5,1
5A	21+850	22+250	22+000	Derecha	2,316	2,494	1,4	7,2
6A	21+850	22+250	22+000	Izquierda	2,355	2,472	1,0	4,7
7A	22+250	22+750	22+500	Derecha	2,301	2,488	2,0	7,5
8A	23+800	24+540	24+000	Derecha	2,341	2,465	1,8	5,0
9A	23+800	24+540	24+500	Izquierda	2,397	2,472	1,7	3,0
10A	25+900	27+200	26+800	Izquierda	2,359	2,476	1,6	4,7
11A	25+900	27+200	26+800	Derecha	2,328	2,484	2,0	6,3
12A	30+900	31+300	31+100	Izquierda	2,409	2,475	1,2	2,7
13A	31+400	31+980	31+700	Derecha	2,299	2,476	2,9	7,1
13C	31+400	31+980	32+000	Derecha	2,344	2,476	0,7	5,3
13E	31+400	31+980	31+960	Derecha	2,344	2,476	1,4	5,3
14A	32+010	32+750	32+300	Izquierda	2,372	2,489	1,3	4,7
15A	37+300	37+700	37+300	Derecha	2,344	2,478	1,8	5,4
16A	37+700	38+300	37+700	Derecha	2,344	2,465	1,5	4,9
17A	37+700	38+600	38+100	Izquierda	2,354	2,463	1,0	4,4
18A	40+760	41+800	41+000	Derecha	2,360	2,476	1,0	4,6
19A	40+760	41+800	41+000	Izquierda	2,309	2,476	2,0	6,7
20A	41+340	41+600	41+500	Izquierda	2,295	2,484	4,0	7,6
21A	41+500	42+000	41+800	Izquierda	2,299	2,493	2,4	7,8
22A	42+100	42+500	42+300	Derecha	2,359	2,472	1,4	4,6
22C	42+100	42+500	42+280	Derecha	2,344	2,472	1,1	5,1
22E	42+100	42+500	42+320	Derecha	2,354	2,472	0,8	4,8

Nº de Núcleo	Tramo seleccionado		Estacionamiento (PK) de extracción	Calzada	Gravedad específica bruta	Gravedad específica máxima teórica	Absorción de agua (%)	Porcentaje de vacíos (%)
	Estacionamiento (PK) Inicial	Estacionamiento (PK) Inicial						
23A	42+660	43+100	43+000	Derecha	2,326	2,489	2,9	6,5
24A	43+600	43+800	43+700	Derecha	2,330	2,487	2,2	6,3
25A	43+600	43+800	43+700	Izquierda	2,329	2,487	1,5	6,4
26A	50+400	51+150	51+000	Derecha	2,330	2,498	1,6	6,7
27A	51+120	51+780	51+400	Izquierda	2,396	2,490	3,1	3,8
28A	51+150	52+300	52+000	Izquierda	2,325	2,474	2,4	6,0
29A	51+789	52+300	52+300	Derecha	2,331	2,513	3,3	7,2
30A	51+789	52+300	52+300	Izquierda	2,341	2,513	3,1	6,8
<b>Promedio</b>							<b>1,8</b>	<b>5,3</b>
<b>Desviación estándar</b>							<b>0,8</b>	<b>1,6</b>

La normativa vigente para este proyecto en la Disposición Vial AM-2001-01, apartado 401.08 establece que el porcentaje de vacíos existente en la carpeta asfáltica colocada, después de la compactación debe encontrarse ente 3% y 8%.

Al analizar los resultados de densidad (vacíos de campo) obtenidos para cada una de las muestras de núcleos ensayadas y que se tabulan en la Tabla 12, se observa que solamente el 9% de todas las muestras (3 de 34) presentan resultados menores al 3% establecido en las especificaciones contractuales. En la Figura 4 se muestra gráficamente el comportamiento de los resultados de los vacíos obtenidos de las muestras ensayadas.

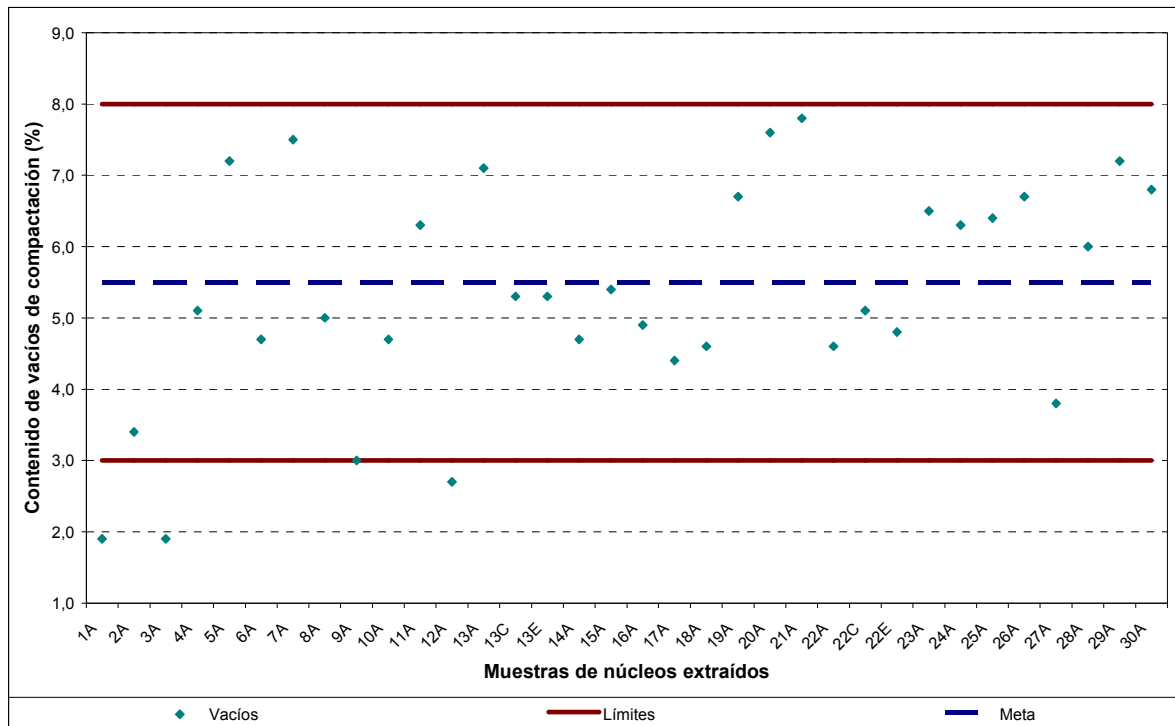
**El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación:** Apartado 401.08 "requisitos de compactación durante la construcción" de la Disposición Vial AM-01-2001.

### **3.5 Sobre la variabilidad de espesor y densidad de compactación de la mezcla asfáltica colocada**

**Observación N°7: Se determina que el espesor y la densidad de compactación de la mezcla asfáltica colocada no presentan una variabilidad significativa.**

Como parte del control estadístico del proceso constructivo se analiza la variabilidad en cuanto a dimensión de espesor y densidad de compactación de la mezcla asfáltica colocada, evaluando mediante estimadores estadísticos la variabilidad de los resultados obtenidos producto del ensayo en laboratorio de los núcleos extraídos

de la primera capa de la carpeta asfáltica.



**Figura 4. Gráfico que ilustra el comportamiento de los datos de contenido de vacíos de los núcleos extraídos de la primera capa de la carpeta asfáltica colocada en la Sección II**

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”.

La constructora del proyecto San José Caldera estableció que el espesor a colocar como primera capa de la carpeta asfáltica sería de una dimensión<sup>6</sup> aproximada a 6,5cm, según lo manifestado por representantes de la empresa, por lo que para el siguiente análisis se considera que no se establece límite superior, por lo que la

<sup>6</sup> Esta dimensión corresponde a la mitad del espesor de capa final para la carpeta asfáltica de 13 cm, establecido en el diseño estructural para la sección II (14+025 a 51+720) del proyecto San José Caldera.



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 34 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 los parámetros de espesor y contenido de vacíos de compactación se indican en la Tabla 13.

**Tabla 13. 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	Qi	Qs	Variabilidad	
			Fuera de los límites de especificación	Dentro de los límites de especificación
Espesor	0,37	0,00	14,28%	85,72%
Contenido de vacíos	3,37	1,68	4,98%	95,02%

Como se observa en la Tabla anterior tanto el espesor de los núcleos medidos en sitio como los resultados de contenido de vacíos de compactación resultantes de los ensayos realizados en el laboratorio del LanammeUCR, cumplen con los porcentajes de cumplimiento definidos en la sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”.

**El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación:** Manual del SIECA “Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales”, Apartado 401.08 “requisitos de compactación durante la construcción” de la Disposición Vial AM-01-2001 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.

## 4. Conclusiones

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.

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, 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. El rango de la tolerancia del diseño de mezcla presentado en el ITP-CS-C-0015-09 se encuentra dentro de los límites de especificación definidos en la Disposición Vial AM-01-2001; sin embargo se evidencia una cercanía de los tamaños granulométricos 12,5 mm y N° 4 al límite inferior y de los tamaños granulométricos N° 16, N° 30 y N° 50 al límite superior de especificación.
- b. Se observa que 3 de los 18 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  $\pm 0,5\%$ ), sin embargo al analizar la variabilidad estadística de este parámetro se puede afirmar que se encuentra dentro de un nivel de variabilidad aceptable.
- c. El 78% de las muestras analizadas de composición granulométrica cumplen satisfactoriamente con el rango permitido por la especificación de diseño, sin embargo los resultados reportados para las mallas  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ", N°8, N°16 y N°30 rebasan 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, en el 22% restante. Además se determina que la variabilidad en los tamaños granulométricos N° 16 y N° 30 es estadísticamente significativa.

- d. De acuerdo con los resultados de espesor medidos en la carpeta asfáltica colocada se pudo determinar en dos de los treinta tramos analizados, el espesor es menor a 5 cm, en cinco tramos se encuentran entre 5 cm y 6,5 cm y en los veintitrés tramos restantes el espesor de carpeta colocada es mayor o igual a 6,5 cm.
- e. Al analizar los resultados de densidad de compactación (vacíos de campo) obtenidos para cada una de las muestras de núcleos ensayadas, se determina que solamente el 9% de todas las muestras (3 de 34) presentan resultados menores al 3% establecido en las especificaciones contractuales.
- f. Los resultados de espesor de la capa colocada y de densidad (vacíos en campo) muestran una baja variabilidad estadística.

## 5. 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. Monitorear y controlar que la variabilidad inherente del proceso productivo no produzca 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, particularmente N° 16 y N° 30.
- b. Verificar el cumplimiento con especificaciones y la variabilidad estadística de los restantes parámetros Marshall obtenidos en el proceso de control de calidad de la mezcla asfáltica producida.
- c. Para proyectos futuros considerar incluir como procedimiento de aceptación la medición de la variabilidad estadística del producto, con el propósito de garantizar un producto homogéneo.

---

---

**Firmas del equipo auditor**

---

**Inga. Jenny Chaverri Jimenez Msc. Eng.**  
Coordinadora de Auditorías Técnicas  
LanammeUCR

---

**Ing. Víctor Cervantes Calvo**  
Auditor LanammeUCR

---

**Inga. Ellen Rodríguez Castro**  
Auditora LanammeUCR

**Visto Bueno Legal**

---

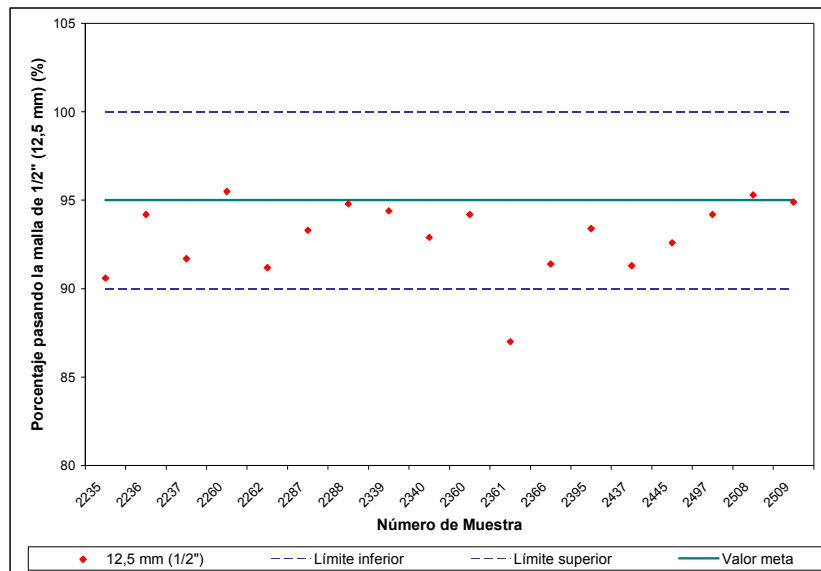
**Lic. Miguel Chacón Alvarado**  
Asesor Legal Externo  
Auditorías Técnicas LanammeUCR

---

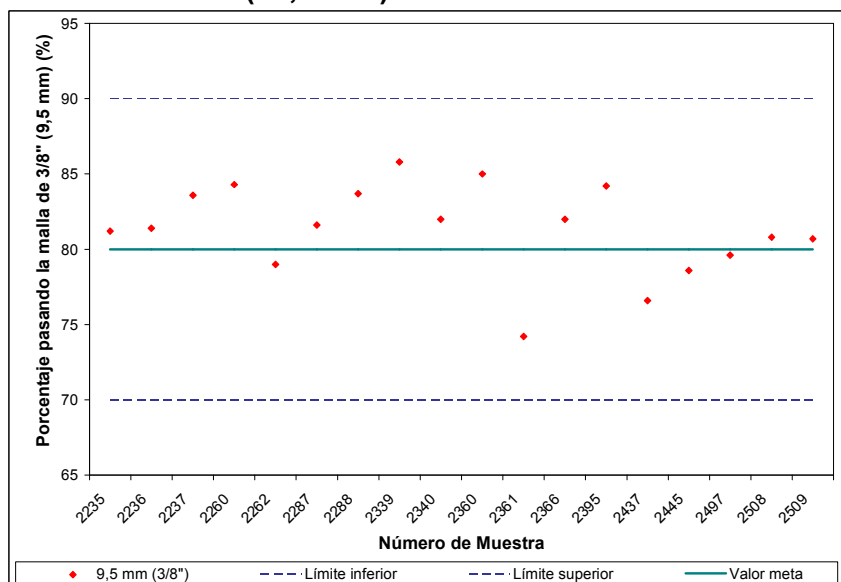
---

## **ANEXOS**

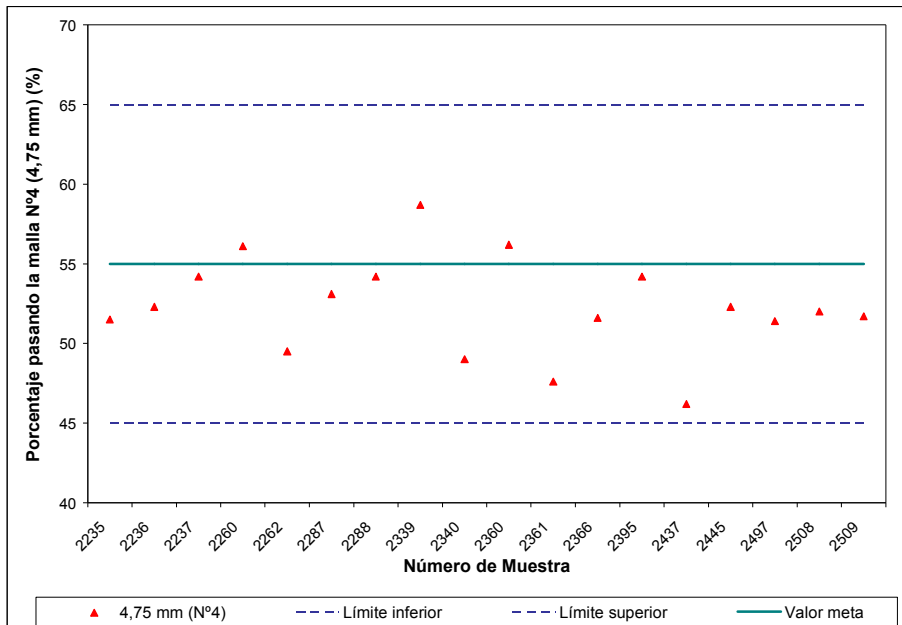
**Anexo 1. Gráficos de los resultados de los ensayos de granulometría realizados a las muestras de mezcla asfáltica**



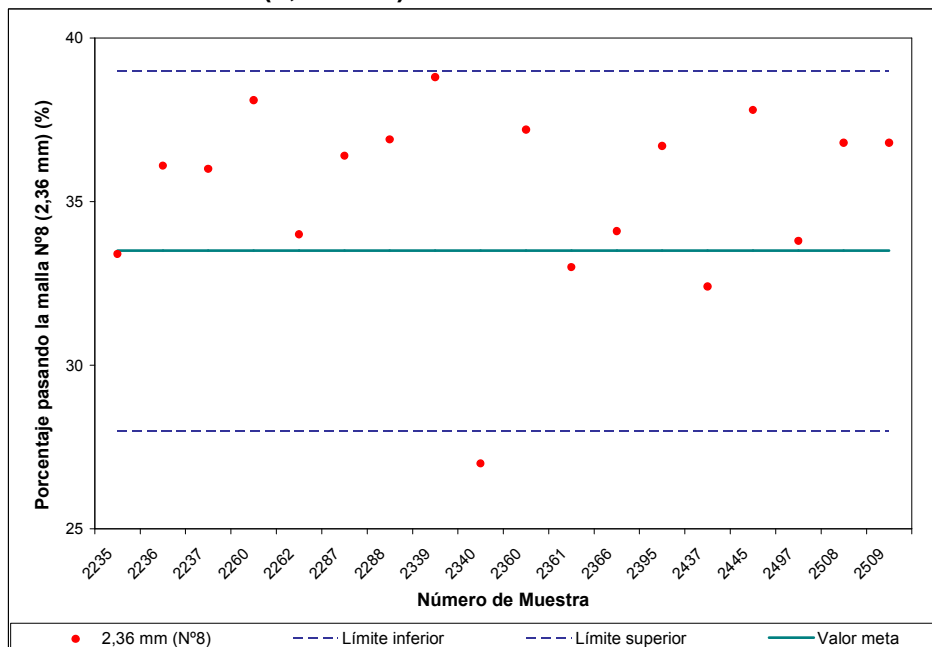
**Figura 5. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla de 1/2" (12,5 mm)**



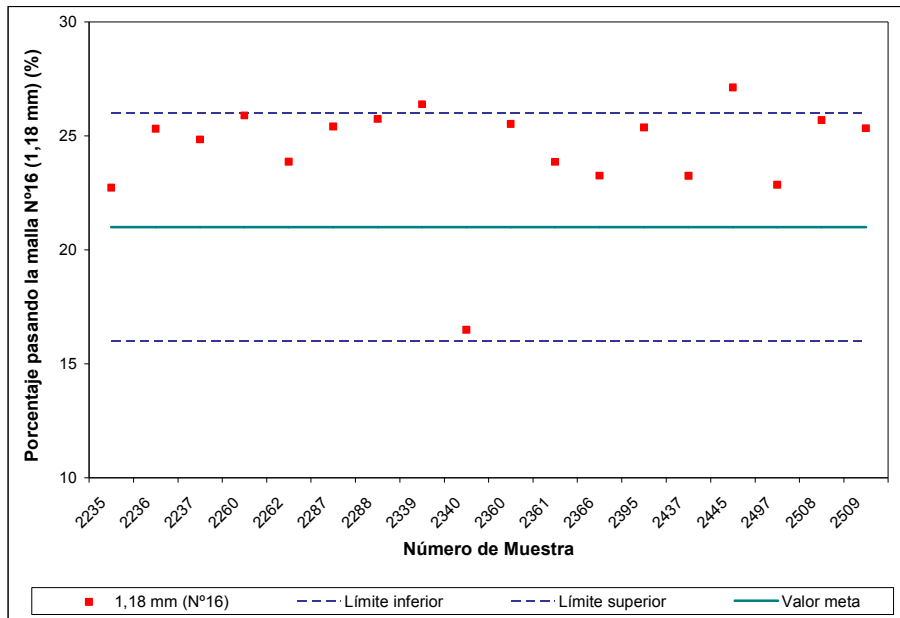
**Figura 6. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla de 3/8" (19,5 mm)**



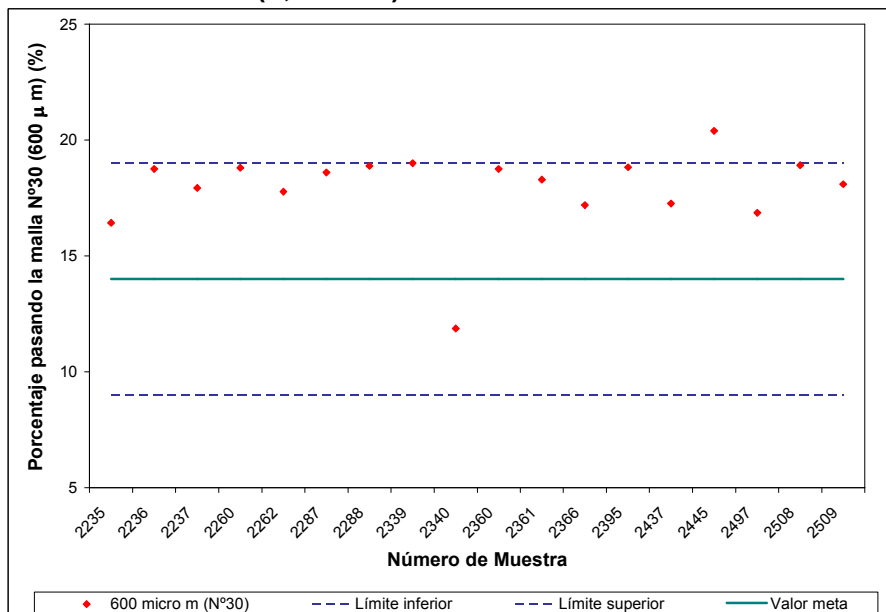
**Figura 7. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 4 (4,75 mm)**



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



**Figura 9. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 16 (1,18 mm)**



**Figura 10. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 30 (600 µm)**



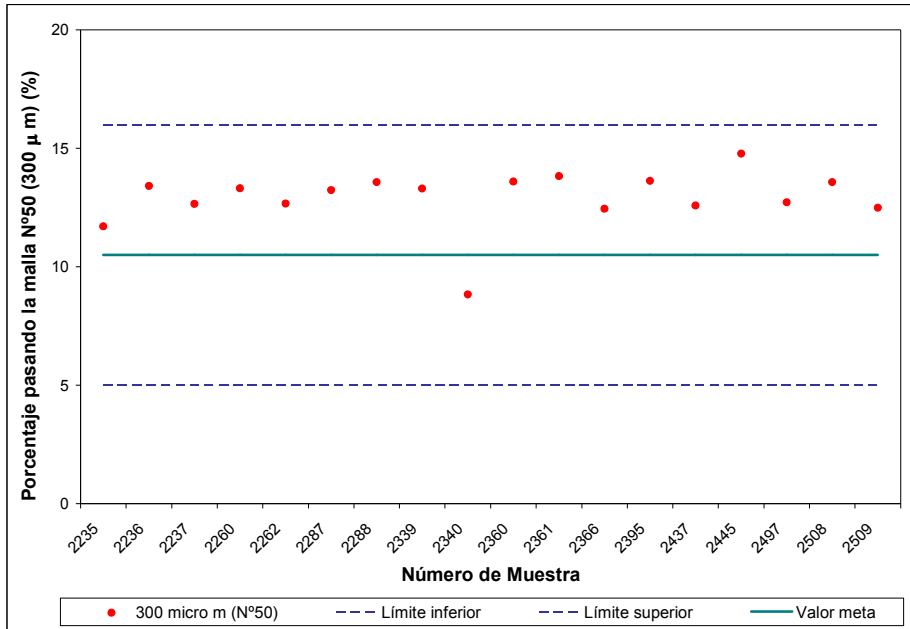


Figura 11. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 50 (300 μm)

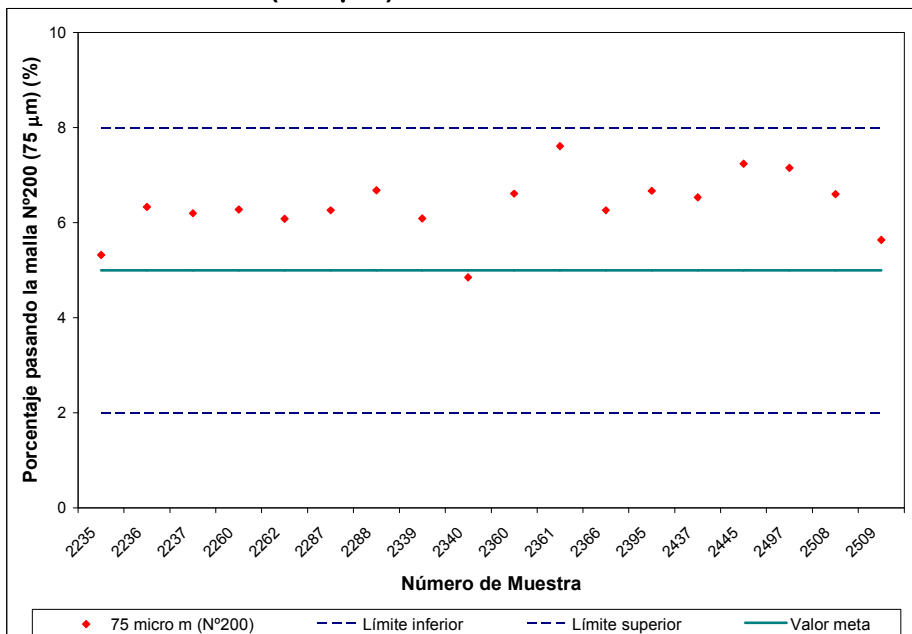
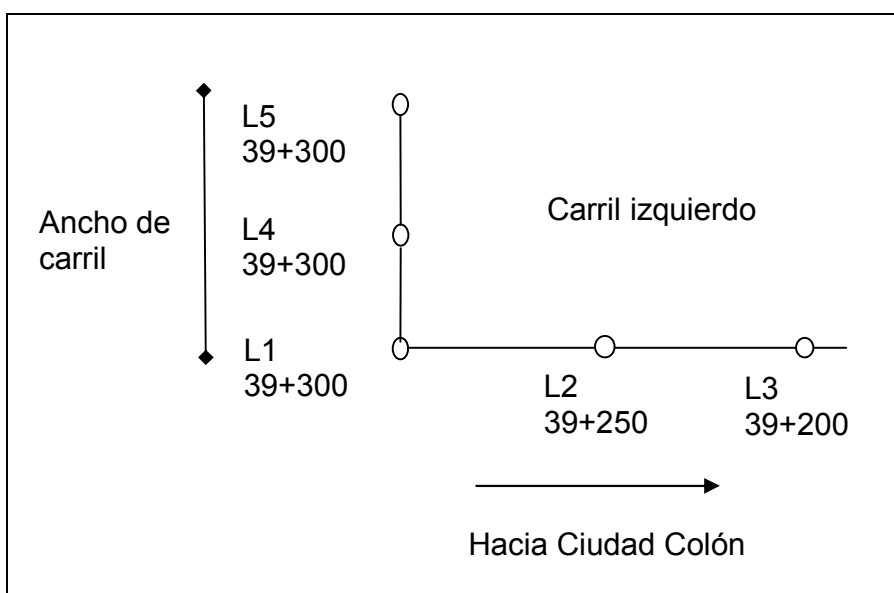


Figura 12. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 200 (75 μm)

### Anexo 2. Estimación del tamaño de muestra

Inicialmente se selecciona un tramo de carpeta asfáltica, ubicado entre los estacionamientos (PK) 38+600 y 39+920, el cual corresponde a un día de producción, con el propósito de extraer 5 núcleos en una distribución de "L", de manera que se pueda analizar la homogeneidad del proceso de colocación y compactación tanto en sentido longitudinal, como transversalmente. En la Figura 13 se detalla la distribución de la extracción de los núcleos y los estacionamientos (PK) exactos, se extraen 3 núcleos distanciados cada 50 m, inicialmente sobre un carril de circulación y posteriormente en sentido longitudinal, tal como se muestra en la figura.



**Figura 13. Diagrama de la ubicación de los puntos de extracción de núcleos en conformación de "L"**

Los resultados de espesor y contenido de vacíos de compactación se resumen en la Tabla 14 y en el Anexo 4 se adjunta el informe de ensayo I-0985-09 que contiene con mayor detalle los resultados.

**Tabla 14. Resultados del espesor y el contenido de vacíos de compactación de los núcleos extraídos de la primera capa de la carpeta asfáltica**

Nº de Núcleo	Tramo seleccionado		Estacionamiento (PK) de extracción	Calzada	Gravedad específica bruta	Gravedad específica máxima teórica	Espesor de carpeta (cm)	Porcentaje de vacíos (%)
	Estacionamiento (PK) Inicial	Estacionamiento (PK) Inicial						
<b>L</b>	<b>38+600</b>	<b>39+920</b>		<b>Izquierda</b>				
L1A			39+300		2,359	2,475	7,9	4,7
L2A			39+250		2,388	2,475	7,7	3,5
L3A			39+200		2,339	2,475	7,8	5,5
L4A			39+300		2,334	2,475	7,9	5,7
L5A			39+300		2,302	2,475	7,7	7,0
<b>Promedio</b>							<b>7,8</b>	<b>5,3</b>
<b>Desviación estándar</b>							<b>0,1</b>	<b>1,3</b>

Además este tipo de extracción permite corroborar mediante criterios estadísticos si el tamaño de muestra seleccionado inicialmente es representativo de la población de 81 unidades de producción identificadas desde el 4 de abril al 18 de septiembre del 2009. Para estimar inicialmente el número de muestras representativo se aplica la siguiente ecuación<sup>7</sup>:

$$n = \frac{s^2 \cdot N \cdot Z_{\alpha}^2}{e^2 \cdot (N - 1) + s^2 \cdot Z_{\alpha}^2}$$

Donde

N: es la población total

n: es el tamaño de muestra

Z : es el valor de la distribución normal de acuerdo con el nivel de confianza elegido

$\alpha$ : error asociado a la selección del nivel de confianza

e: es el error permitido

s: es la desviación estándar estimada en la "L"

<sup>7</sup> **Pita Fernández, S.** "Determinación del tamaño muestral". Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Juan Canalejo.

Para el caso en estudio se selecciona un nivel de confianza de 95% ( $\alpha = 5\%$ ) lo cual implica que el valor de Z es de 1,96. El valor de la desviación estándar de acuerdo con los resultados obtenidos en la "L" es de 1,3 para el parámetro de vacíos y se asigna un valor para el error máximo permisible (e) de 0,08 con base en la Tabla 106-2 de la sección 107 "Aceptación del Trabajo" del Manual del SIECA "Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales" para un valor de n mayor a 67. Sustituyendo los valores se obtiene:

$$n = \frac{(1,3)^2 \cdot 81 \cdot (1,96)^2}{(0,08)^2 \cdot (81 - 1) + (1,3)^2 \cdot (1,96)^2}$$

$$n = 75,10 \cong 75$$

Esto representa que para realizar un análisis de control de calidad de la densidad de compactación con fundamento estadístico se requieren como mínimo 75 muestras. Sin embargo como el propósito de la toma de muestras es la verificación del trabajo realizado con fines de fiscalización, se considera que  $1/3$  parte ( $75/3 = 25$ ) de la cantidad de muestras requeridas por el control de calidad es significativamente representativa, por lo tanto el análisis con base en 30 muestras propuestas es suficiente para realizar el estudio.

***Anexo 3. Informe de Ensayo I-0965-09***

**Anexo 4. Informe de Ensayo I-0985-09**

**Anexo 5. Informe de Ensayo I-1044-09**

**Anexo 6. Sección 107 “Aceptación del Trabajo” del Manual del SIECA  
“Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes  
regionales”**