

**REPORTE  
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA  
LM-AT-002-09**

**EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA  
EN CALIENTE DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA  
CONSTRUCTORA SANTA FE LTDA  
CEBADILLA, ALAJUELA**

**“PROYECTOS LP-01-2005:  
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 1-1  
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 1-5  
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 2-2  
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 3-2  
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 6-1”**

**ENERO 2009**

<b>REPORTE DE AUDITORÍA TÉCNICA</b> <b>“EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA LA CONSTRUCTORA SANTA FE LTDA UBICADA EN CEBADILLA, ALAJUELA ”</b>
<b>Área auditada:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Planta productora de mezcla asfáltica en caliente, Constructora Santa Fe Ltda.</li></ul>
<b>Auditores:</b> Ingenieros Ellen Rodríguez Castro y Víctor Cervantes Calvo
<b>Alcance de la auditoría:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Visita a la Planta productora de Santa Fe ubicada en Cebadilla con el propósito de tomar muestras de mezcla asfáltica en caliente para determinar la composición granulométrica y contenido de asfalto mediante ensayos de laboratorio.</li></ul>
<b>Referencias:</b> Periodo de visitas: 29 de agosto al 6 de octubre de 2008

### **Objetivo de los reportes de auditoría**

Los comentarios que se expresan en los reportes que emite la Unidad de Auditoría Técnica tienen como propósito principal aportar aspectos técnicos a la Administración que puedan ser considerados dentro del proceso de mejora continua que forma parte de los sistemas de gestión de calidad.

### **Antecedentes**

La planta productora de mezcla asfáltica en caliente de la Constructora Santa Fe Ltda. ubicada en Cebadilla de Alajuela proporciona servicios a los proyectos de Conservación Vial de la red nacional pavimentada a las zonas que se detallan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Zonas a las que la planta de producción de Constructora Santa Fe ubicada en Cebadilla distribuye Mezcla Asfáltica en Caliente**

<b>Zona</b>	<b>Descripción</b>
Zona 1-1	San José, Goicoechea, Alajuelita, Vázquez de Coronado, Tibás, Moravia y Montes de Oca
Zona 1-5	Naranjo, Grecia (menos distrito de Río Cuarto), Valverde vega, San Ramón y Palmares
Zona 2-2	Abangares, Cañas y Tilarán
Zona 3-2	San Mateo, Orotina, Garabito, Parrita y Aguirre
Zona 6-1	Sarapiquí, San Carlos, distrito de Río Cuarto, distrito de Sarapiquí, distrito de Peñas Blancas

Las actividades llevadas a cabo por el equipo auditoría consistieron en visitar las instalaciones de la planta productora durante el periodo de producción de mezcla asfáltica en caliente no modificada por un lapso de dos semanas. Durante las visitas se tomaron ocho muestras de la mezcla asfáltica producida, para ser posteriormente ensayadas en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). Los ensayos realizados consistieron en determinar el contenido de asfalto (ASTM D-6307/ASTM D-95) y la composición granulométrica (ASTM D-5444) de cada una de las muestras.

También se procedió a tomar muestras de agregados en cada uno de los materiales apilamientos, del ligante asfáltico y del relleno mineral denominado Cal Industrial o Cal C-300 para establecer el factor de corrección tipificado por el ensayo de contenido de asfalto (ASTM D-6307), así como determinar el contenido de humedad (ASTM D-95) presente en cada una de las muestras de mezcla asfáltica.

A continuación se presentan los aspectos más relevantes que se evidenciaron del análisis de los resultados de ensayo y de las mediciones realizadas durante la visita a la planta.

**Sobre la calidad de la mezcla asfáltica producida.**

1. El organismo de inspección de la zona 1-5 mediante el oficio OI (1-5)-0180-2008 con fecha de 25 de septiembre de 2008, envía a esta auditoría el diseño de mezcla asfáltica vigente, el cual se genera por el cambio del asfalto de AC-30 a AC-40 distribuido por RECOPE.

El diseño de mezcla es elaborado el 25 de agosto de 2008 por el Laboratorio de la Compañía Asesora en Construcción e Ingeniería (CACISA) y se identifica como INF-2397-2008. Los agregados utilizados para realizar el

diseño provienen del quebrador de la Constructora Santa Fe Ltda. situado en Río Grande de Tárcoles, en la zona de Atenas, provincia de Alajuela. Los parámetros generales de la mezcla asfáltica se muestran en el Cuadro 2.

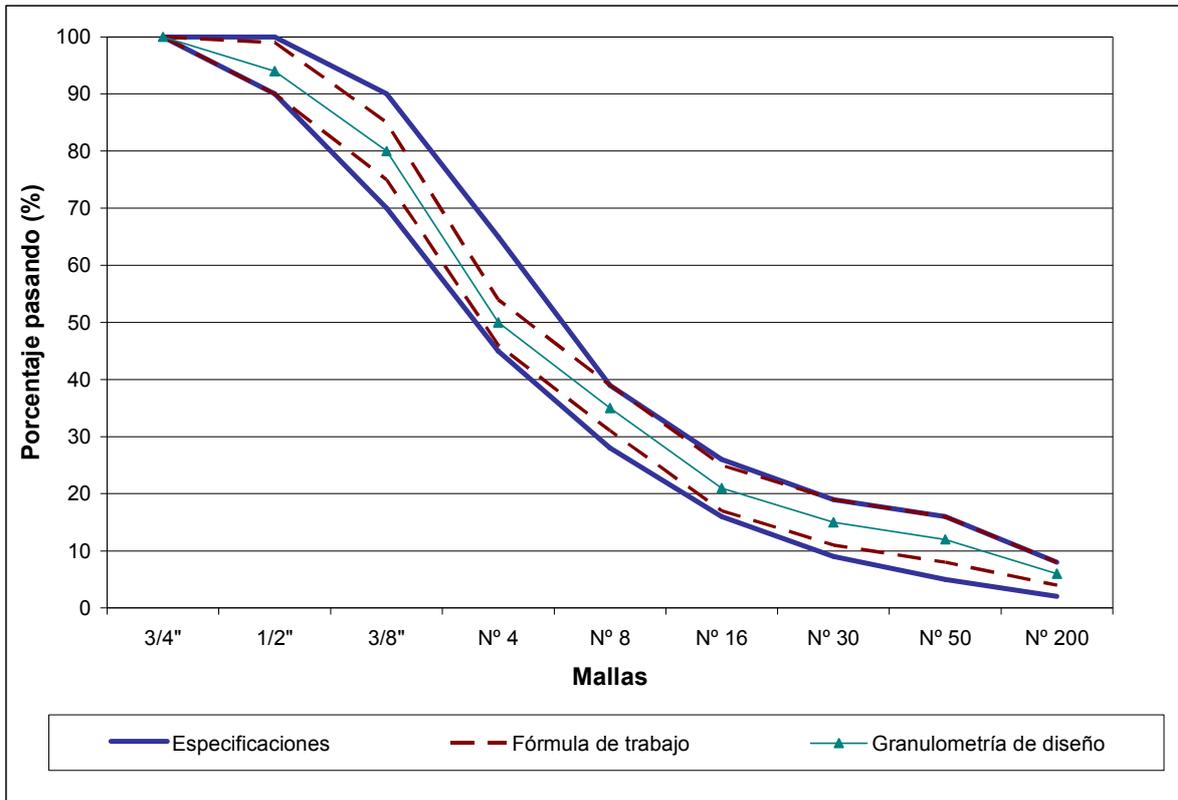
**Cuadro 2. Parámetros generales de diseño de mezcla asfáltica**

Parámetro	Valor
Contenido óptimo de asfalto	6,00% (sobre el peso de mezcla) 6,36% (sobre el peso del agregado)
Proporción de relleno mineral (Cal C-300)	1,5% (sobre el peso de los agregados)
Proporción de agregados	47% (Fracción de finos) 40% (Fracción de intermedios) 13% (Fracción de gruesos)
Granulometría de diseño	Ver Cuadro 3

**Cuadro 3. Granulometría del diseño de mezcla asfáltica**

Tamiz	Granulometría de diseño	Tolerancias del diseño	Rangos para la Fórmula de Trabajo
¾ (19,1 mm)	100	100	100
½ (12,5 mm)	94	90 – 100	90 – 99
⅜ (9,5 mm)	80	70 – 90	75 – 85
Nº 4 (4,75 mm)	50	45 – 65	46 – 54
Nº 8 (2,36 mm)	35	28 – 39	31 – 39
Nº 16 (1,18 mm)	21	16 – 26	17 – 25
Nº 30 (600 µm)	15	9 – 19	11 – 19
Nº 50 (300 µm)	12	5 – 16	8 – 16
Nº 200 (75 µm)	6,0	2,0 – 8,0	4,0 – 8,0

Al examinar los rangos de la fórmula de trabajo planteada ( — — Fórmula de trabajo -ver Figura 1), se puede evidenciar que existe el riesgo de incumplir la tolerancia de las especificaciones establecida para las mallas Nº 4, Nº 8, Nº 16, Nº 30, Nº 50 y Nº 200, debido a que los valores se ubican muy cercanos a los límites.



**Figura 1. Gráfico de diseño de mezcla y fórmula de trabajo**

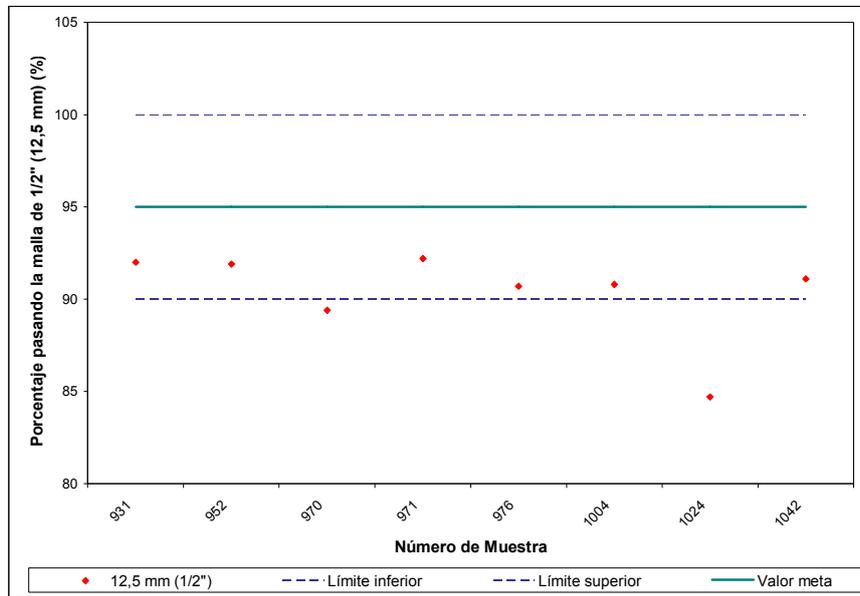
- Los resultados de los ensayos de contenido de asfalto y composición granulométrica realizados en el LanammeUCR a cada una de las muestras de mezcla asfáltica (ver Informe I-0887-2008 anexo), se presentan en el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Resultados de los ensayos realizados a la mezcla asfáltica.**

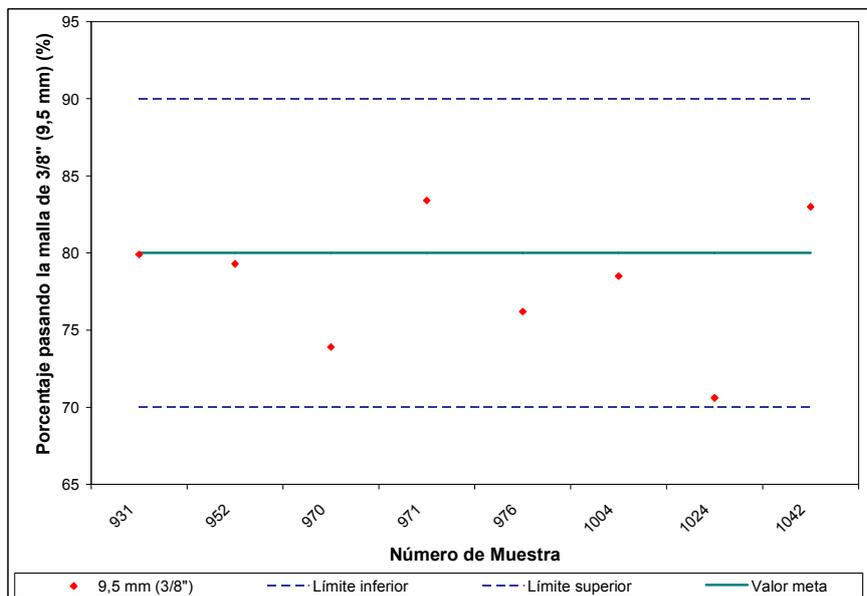
Fecha			29/08/08	05/09/08	12/09/08	17/09/08	18/09/08	25/09/08	01/10/08	06/10/08	Promedio	Desv Stand	
Muestra			0931-08	0952-08	0970-08	0971-08	0976-08	1004-08	1024-08	1042-08			
Parámetros	Especificación												
Factor Corrección (%)	--	--	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	--	--	
Contenido de agua (%)	--	--	0,22	0,31	0,28	0,31	0,29	0,28	0,28	0,25	--	--	
Contenido de Asfalto (%)	<b>5,5</b>	<b>6,5</b>	6,1	5,6	5,6	5,8	5,8	5,6	5,8	6,3	5,8	0,29	
<b>Mallas (% pasando)</b>													
<b>3/4"</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	--	--	
<b>1/2"</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	92,0	91,9	<b>89,4</b>	92,2	90,7	90,8	<b>84,7</b>	91,1	90,9	3,10	
<b>3/8"</b>	<b>70</b>	<b>90</b>	79,9	79,3	73,9	83,4	76,2	78,5	70,6	83,0	78,5	4,38	
<b>Nº 4</b>	<b>45</b>	<b>65</b>	52,1	52,4	46,6	52,7	46,8	51,1	<b>42,6</b>	55,9	50,0	4,03	
<b>Nº 8</b>	<b>28</b>	<b>39</b>	32,9	33,4	29,7	32,2	29,2	32,9	28,3	35,4	31,9	2,56	
<b>Nº 16</b>	<b>16</b>	<b>26</b>	21,4	21,8	19,8	20,8	19,2	21,7	19,2	22,9	21,0	1,81	
<b>Nº 30</b>	<b>9</b>	<b>19</b>	14,9	15,7	14,1	15,0	13,7	15,5	13,7	16,3	14,9	1,58	
<b>Nº 50</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	10,8	11,7	10,3	11,2	10,1	11,3	10,2	11,8	11,1	1,51	
<b>Nº 200</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	6,2	7,1	5,9	6,5	5,9	6,6	6,1	6,7	6,33	0,76	

Se observa en el Cuadro 4 y en las Figuras 2 a. y 3 a. que la granulometría de la mezcla correspondiente a la muestra 1024-08 tomada el 1º de octubre de 2008 durante la producción de la planta Santa Fe, estuvo por debajo de la tolerancia permitida en las mallas: ½ pulgada (12,5 mm) y Nº 4 (4,75 mm). También se observa un incumplimiento en la malla de ½ pulgadas (12,5 mm) en la muestra 0970-08 tomada el 12 de septiembre de 2008.

En la Figura 2 a. así como en los datos contenidos en el Cuadro 4, se nota la tendencia de los resultados reportados para la malla de ½" (12,5 mm) de acercarse al límite inferior de especificación, que en este caso corresponde también al valor inferior del rango de la fórmula de trabajo, lo cual incrementa el riesgo de incumplir la especificación para este parámetro.

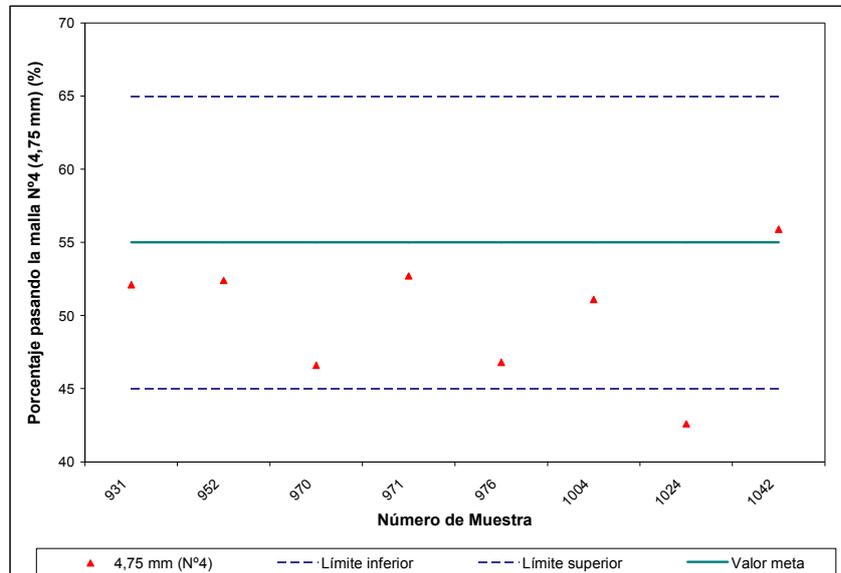


a.

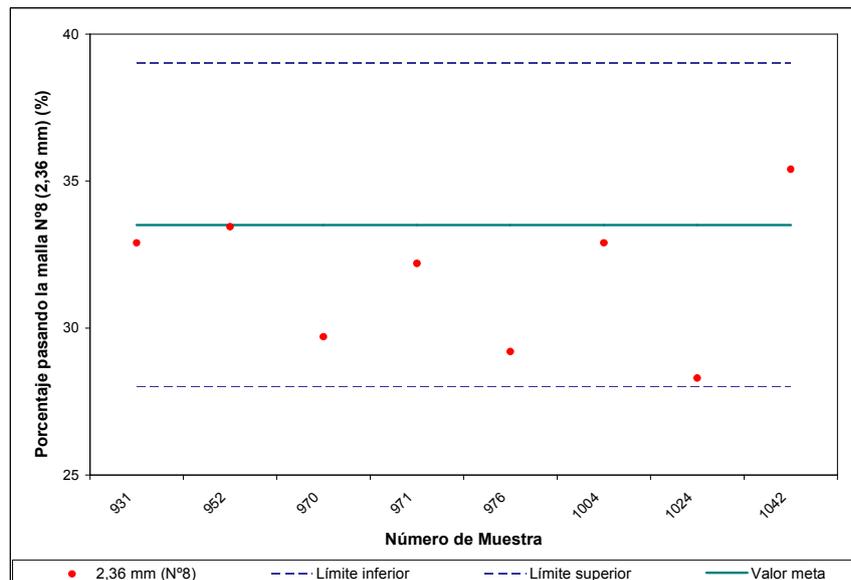


b.

Figura 2. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para las mallas: a. 1/2 pulg (12,5 mm) b. 3/8 pulg (19,5 mm)

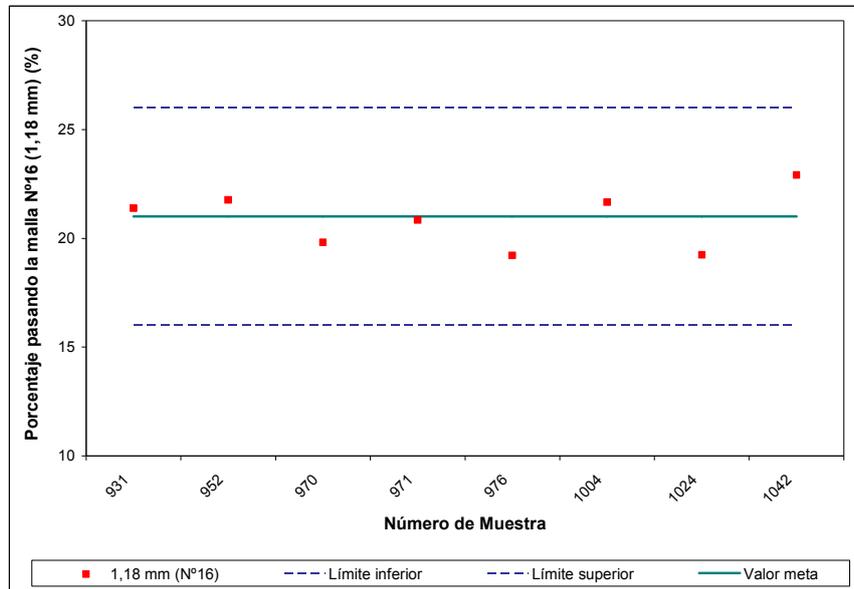


a.

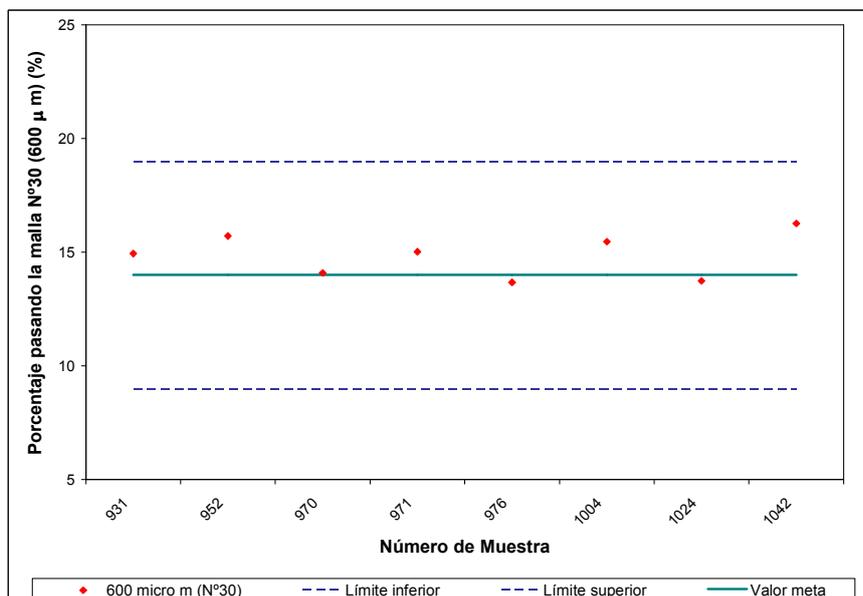


b.

**Figura 3. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para las mallas: a. N° 4 (4,75 mm) b. N° 8 (2,36 mm)**

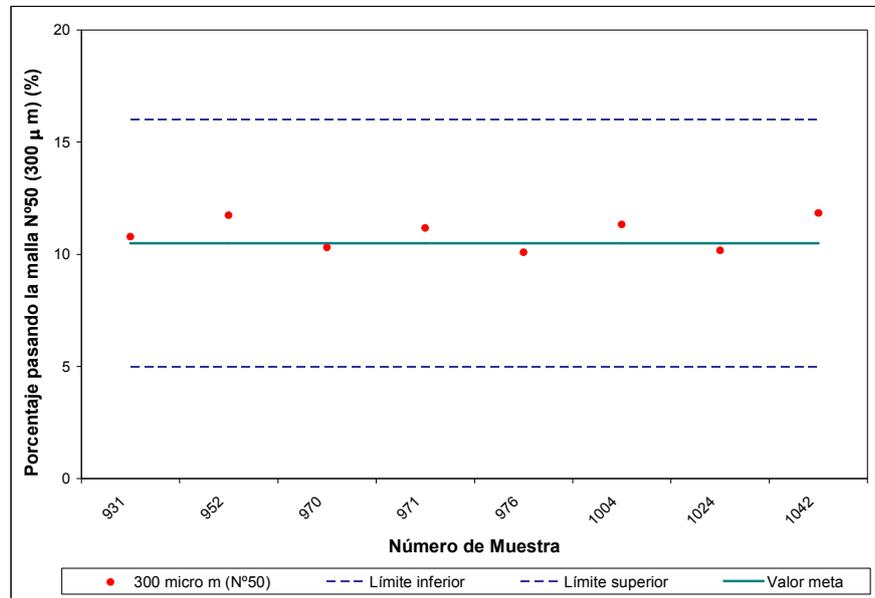


a.

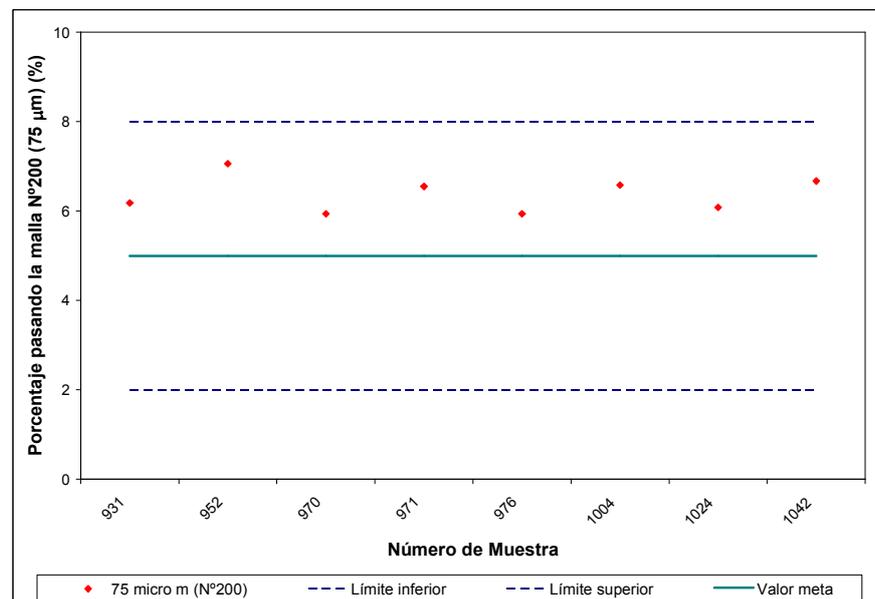


b.

**Figura 4. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para las mallas: a. N° 16 (1,18 mm) b. N° 30 (600 µm)**



a.

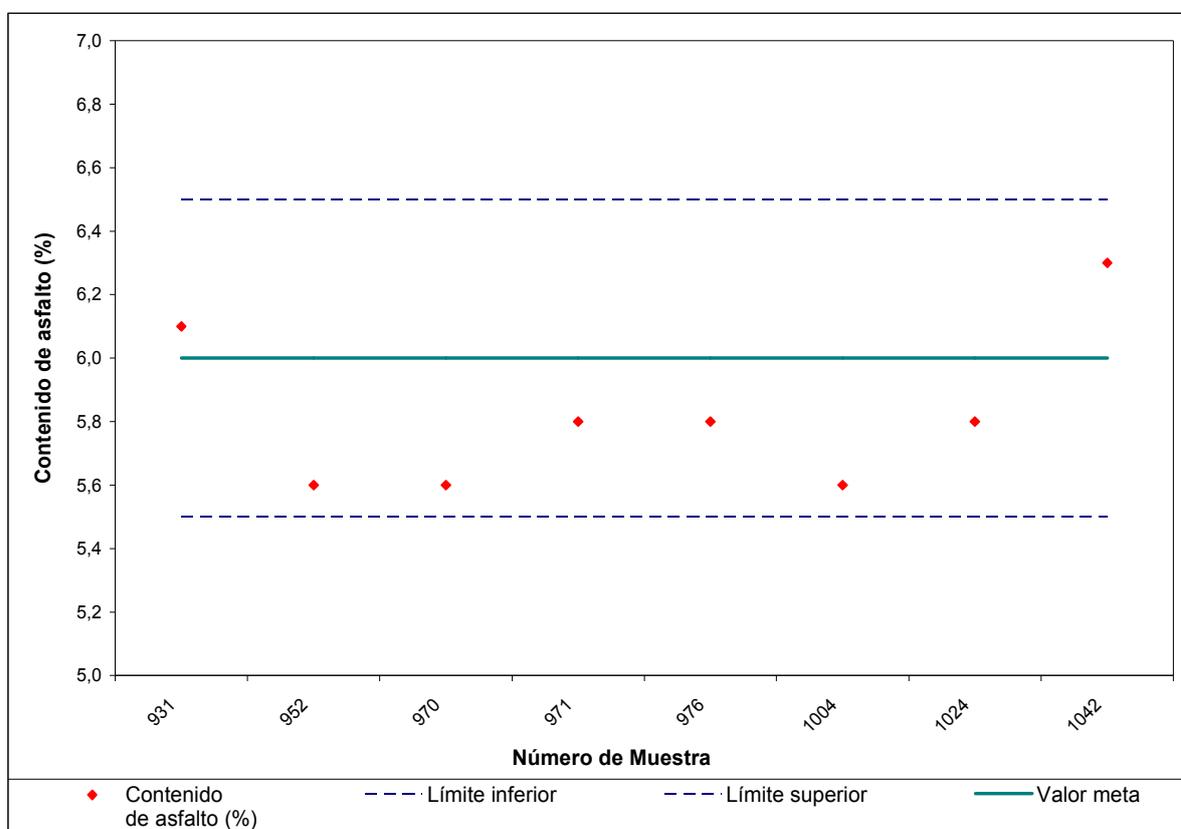


b.

**Figura 5. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para las mallas: a. N° 50 (300 µm) b. N° 200 (75 µm)**

3. En la Figura 6 se presentan los resultados de contenido de asfalto obtenido de las muestras ensayadas durante el periodo de estudio de la mezcla asfáltica producida en la planta de Cebadilla.

Se observa que todos los resultados se encuentran dentro de los límites establecidos en el diseño de mezcla, sin embargo de las ocho muestras ensayadas, tres reportan resultados cercanos al límite inferior de diseño, lo cual es una indicación de debilidades en el control del proceso productivo.



**Figura 6. Gráfico de los resultados de los ensayos de contenido de asfalto**

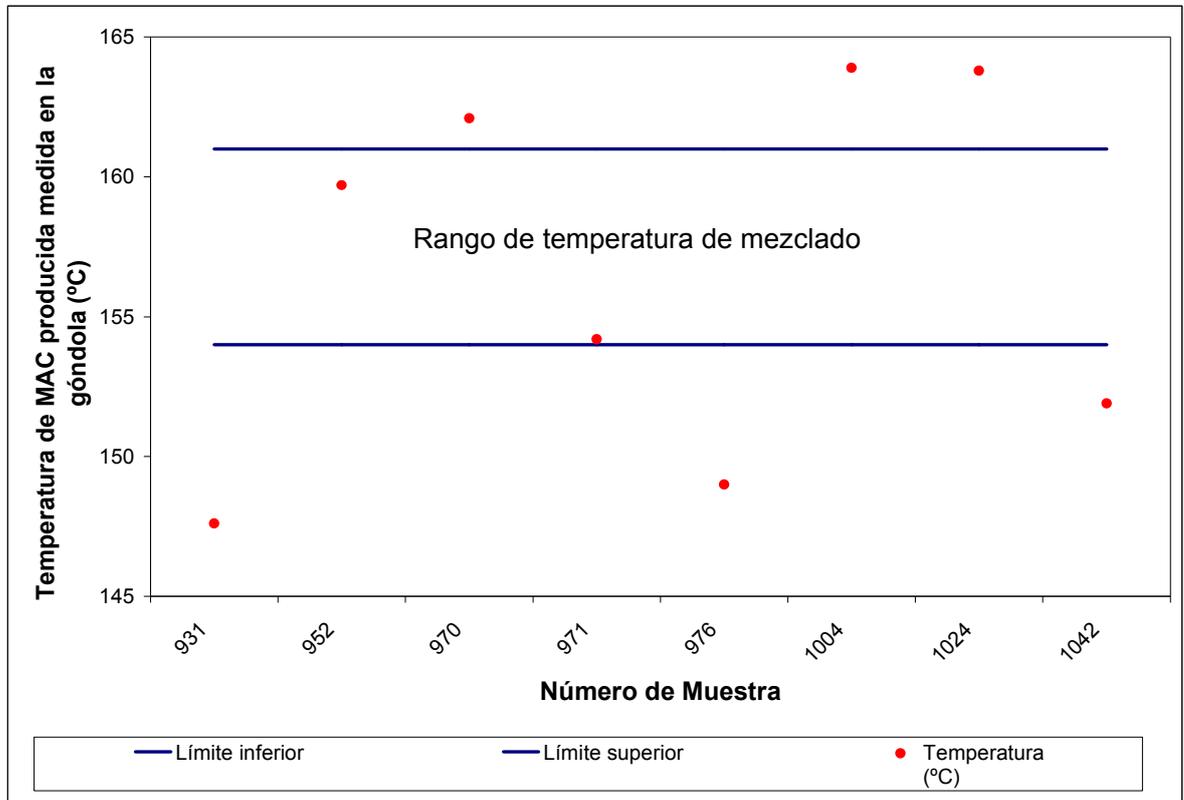
4. Durante las visitas a la planta, para tomar las muestras de mezcla asfáltica, esta auditoría se realizó diferentes mediciones de temperaturas, las cuales se tomaron en la mezcla asfáltica de la góndola de las vagonetas. Un resumen de las mediciones de temperatura se muestra en el Cuadro 5.

**Cuadro 5. Temperaturas de la mezcla asfáltica medidas en góndola.**

<b>Fecha</b>	<b>Muestra</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0931-08	29/08/2008	<b>147,6</b>
0952-08	05/09/2008	159,7
0970-08	12/09/2008	<b>162,1</b>
0971-08	17/09/2008	154,2
0976-08	18/09/2008	<b>149,0</b>
1004-08	25/09/2008	<b>163,9</b>
1024-08	01/10/2008	<b>163,8</b>
1042-08	06/10/2008	<b>151,9</b>
<b>Promedio</b>		<b>156,5</b>
<b>Desviación Estándar</b>		<b>6,7</b>

De los certificados de calidad del asfalto emitidos por RECOPE durante el mes de septiembre, se puede deducir que la temperatura de mezclado varía entre 154 °C y 162 °C, lo cual corresponde a un rango de temperatura de mezclado máximo de 8 °C.

Del análisis de los datos que se presentan en el Cuadro 5 y la Figura 7, se puede establecer que las temperaturas medidas por esta auditoría durante el periodo de estudio oscilan entre los 147,6 °C y los 164,9 °C, lo cual corresponde aproximadamente a un rango de 17 °C, que representa más del doble del rango máximo que se reporta en los certificados de calidad del asfalto. Se observa en la Figura 7 que sólo dos de las mediciones realizadas por esta auditoría se encuentran dentro del rango de temperatura de mezclado.



**Figura 7. Resultados de las temperaturas de la mezcla asfáltica producida medidas en la góndola**

- En cuanto a la evaluación de calidad de los parámetros ensayados en las muestra de mezcla asfáltica, los resultados se presentan en el Cuadro 6.

**Cuadro 6. Índices de calidad de la mezcla asfáltica.**

Índice de calidad Parámetro	Qi	Qs	Porcentaje de incumplimiento	Porcentaje de calidad
Contenido Asfalto <sup>ψ</sup>	1,36	2,83	10,44%	100%
3/4"	--	--	--	--
1/2	0,14	3,93	44,31%	<b>82%</b>
3/8"	1,85	2,72	3,77%	100%
Nº 4 <sup>ψ</sup>	1,17	3,47	13,44%	100%
Nº 8	1,54	2,97	7,22%	100%
Nº 16	3,66	3,88	0,09%	100%
Nº 30 <sup>ψ</sup>	6,13	4,33	0%	100%
Nº 50	8,51	7,27	0%	100%
Nº 200 <sup>ψ</sup>	10,88	4,04	0%	100%

<sup>ψ</sup> Parámetros valorados dentro del modelo de pago de calidad de los materiales

La evaluación de la calidad de los parámetros de diseño y producción es una actividad fundamental que forma parte 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 mejorar la eficiencia de la producción, entre otros.

Es por esta razón que en la producción de mezcla asfáltica, al igual que cualquier 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.

### **Comentarios sobre la calidad de la mezcla asfáltica producida.**

Las propiedades definidas a partir de un 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 que sea impermeable a la presencia de humedad. Mediante este proceso (diseño de mezcla) se establecen los requisitos mínimos y las tolerancias que debe cumplir la mezcla asfáltica.

La comparación de los resultados de los ensayos que se ejecutan como parte del control de calidad con las especificaciones y con la fórmula de trabajo debe

realizarse con el propósito de hacer correcciones o ajustes del proceso productivo, y en algunas situaciones volver a evaluar y diseñar la mezcla asfáltica utilizada en el proceso de pavimentación.

A partir de los resultados de los ensayos de laboratorio y de las mediciones realizadas y las muestras tomadas en las fechas indicadas en el Cuadro 4, se hacen los siguientes comentarios, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

- Se observa que los rangos de la fórmula de trabajo se encuentran muy cercanos a los límites de especificación para las mallas N° 8 (2,36 mm), N° 16 (1,18 mm), N° 30 (600  $\mu\text{m}$ ), N° 50 (300  $\mu\text{m}$ ) y N° 200 (75  $\mu\text{m}$ ), como se puede observar en la Figura 1. Esto evidencia el riesgo de incumplir con la tolerancia establecida en las especificaciones contractuales, por lo que el control de la granulometría requiere de mayor rigurosidad.
- Para el caso de la malla  $\frac{1}{2}$ " (12,5 mm) se determinan dos incumplimientos de en los días 12 de septiembre y 1° de octubre de 2008 (muestras identificadas como 970-08 y 1024-08, respectivamente). Además se nota en la Figura 2 a. la tendencia de este parámetro de acercarse al límite inferior de especificación
- Los resultados de contenido de asfalto reportado en los resultados de las muestras ensayadas, se encuentran dentro de los límites de especificación establecidos en el diseño de mezcla, sin embargo tres de las ocho muestras tomadas, reportan resultados cercanos al límite inferior (ver Figura 6), por lo que sería recomendable mantener un control riguroso sobre este parámetro para evitar que se produzcan incumplimientos.
- Uno de los parámetros que no demuestra mantenerse bajo control es la temperatura de mezclado. En la Figura 7 se observa que sólo dos de las mediciones de temperatura realizadas por esta auditoría durante el periodo en estudio, se encuentran dentro el rango máximo de temperatura de mezclado (154 °C a 162 °C) reportado en los certificados de calidad del asfalto emitidos por RECOPE. La variación que se cuantifica con las realizadas durante las visitas a la planta de producción de Cebadilla es aproximadamente, de 17 °C, que corresponde al más del doble al rango máximo reportado en los certificados de calidad del asfalto emitidos por RECOPE.

---

---

**Firmas del equipo auditor**

---

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

---

**Ing. Víctor Cervantes Calvo**  
Auditor LanammeUCR

---

**Inga. Ellen Rodríguez Castro**  
Auditora LanammeUCR

**ANEXO**  
**INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO**