

**INFORME
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-213-09**

**EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA
CONSTRUCTORA SANTA FE
PALMAR SUR, PUNTARENAS**

**“PROYECTOS LP-01-2005:
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 4-2
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 4-3”**

SEPTIEMBRE 2009

“EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA SANTA FE PALMAR SUR, PUNTARENAS”

Departamento encargado del proyecto: Dirección de Conservación Vial,
CONAVI

Licitación: LP-01-2005

Periodo de la Obra: 2006-2009

Monto del contrato:

Zona	Monto de contrato
4-2	₡ 6 704 901 477
4-3	₡ 20 789 425 931

Área auditada:

- Mezcla Asfáltica fabricada en la planta productora de mezcla asfáltica en caliente, Constructora Santa Fe ubicada en Palmar Sur, bajo la responsabilidad del Organismo de Inspección de la Zona de Conservación Vial 4-2

Auditores: Ingenieros Ellen Rodríguez Castro y Víctor Cervantes Calvo

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

Asesor Legal Externo: Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance de la auditoría:

- Visita a la Planta productora de Santa Fe ubicada en Palmar Sur con el propósito de obtener muestras de mezcla asfáltica en caliente para determinar la composición granulométrica y contenido de asfalto mediante ensayos de laboratorio.

Referencias:

- Periodo de visitas: 19 al 28 de mayo de 2009.
- Diseño de mezcla vigente, informe de diseño con identificación INF. 2651-2008.
- Informe de resultados de ensayo I-0571-09, emitido por LanammeUCR, que incluye las muestras identificadas como (1192, 1234, 1235, 1236, 1297, 1298 y 1299)-09.
- Normativa contractual: Cartel de Licitación LP-01-2005, Disposición Vial AM-01-2001.

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 aspectos técnicos de la producción de mezcla asfáltica en caliente 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 estadísticamente algunas de las características más relevantes de la mezcla asfáltica que se produce en la Planta Santa Fe-Palmar Sur, a saber: Contenido de asfalto y graduación de la mezcla, así como algunos aspectos del proceso productivo, de acuerdo con lo que se establece en la Actualización de las Especificaciones Especiales del cartel de Licitación LP-01-2005¹.

2. Información General

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

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

Zona	Descripción
Zona 4-2	Buenos Aires y Coto Brus
Zona 4-3	Osa, Golfito y Corredores

¹ La "Actualización de Especificaciones Especiales" emitida por el CONAVI el 29 de mayo de 2006.

Las actividades llevadas a cabo por el equipo de auditoría, consistieron en visitar las instalaciones de la planta productora durante un periodo definido² de producción de mezcla asfáltica en caliente, y con el apoyo del personal del laboratorio de campo del LanammeUCR³ efectuar un muestreo de la producción.

En cada visita se eligió una vagoneta cargada con mezcla asfáltica para obtener una muestra representativa de la mezcla asfáltica. Al final del periodo de visitas se completó un total de siete muestras de la mezcla asfáltica producida, las cuales fueron posteriormente ensayadas en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). Los ensayos realizados consistieron en determinar el valor del contenido de asfalto (ASTM D-6307⁴/ASTM D-95⁵) y la composición granulométrica (ASTM D-5444⁶) de cada una de las muestras.

También se procedió a tomar muestras de cada uno de los materiales utilizados en la producción, tanto de ligante asfáltico como de material granular de cada uno de los apilamientos utilizados. El propósito de obtener dichos materiales es establecer el factor de corrección tipificado para el ensayo de contenido de asfalto (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.

Durante la visita realizada por el equipo auditor a las instalaciones de la planta Santa Fe ubicada en Palmar Sur, el inspector de planta manifestó que el informe de diseño de mezcla vigente para la producción de la mezcla asfáltica en caliente corresponde al identificado como INF. 2651-2008. Los parámetros generales definidos en el diseño de mezcla se resumen en la Tabla 2.

² Los días 19, 20, 21, 22, 26, 27 y 28 de mayo de 2009 se obtuvo muestra de la producción de mezcla.

³ 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.

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

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

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

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

Parámetro	Valor
Contenido óptimo de asfalto	5,0 % (sobre el peso de mezcla)
Proporción de agregados	48 % (Fracción de finos) 33 % (Fracción de intermedios) 19 % (Fracción de gruesos)
Granulometría de diseño	12,5 mm

3. Hallazgos

3.1 Sobre el contenido de asfalto de las muestras de mezcla asfáltica analizadas

La Disposición Vial AM-01-2001 establece que la variabilidad permitida para el parámetro de contenido de asfalto debe mantenerse en $\pm 0,5\%$ con respecto al valor óptimo de asfalto definido en el diseño de mezcla. Para la producción de la planta de Santa Fe-Palmar Sur el valor óptimo de asfalto establecido en el diseño de mezcla vigente está definido como $5,0 \pm 0,5\%$ sobre el peso de la mezcla, lo cual establece los límites del rango en 4,5% y 5,5%.

De acuerdo con el Informe de Ensayo I-0571-09, correspondiente a las muestras de mezcla asfáltica tomadas en el periodo mencionado, se evidencia que el 43% de los resultados de contenido de asfalto son menores que el límite inferior del rango establecido en las especificaciones nacionales. Además, se observa que dos de los resultados se encuentran sobre el valor del límite inferior de contenido de asfalto, lo cual tiene como resultado la posibilidad de incumplimiento debido a la incertidumbre reportada para el resultado ($4,5\% \pm 0,1$). También se puede observar que ninguno de los resultados reportados se acerca al valor óptimo de contenido de asfalto establecido en el diseño de mezcla vigente. (ver Tabla 3 y Figura 1).

Tabla 3. Resultados reportados en el informe de ensayo I-0571-09 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR.

Fecha		19/05/09	20/05/09	21/05/09	22/05/09	26/05/09	27/05/09	28/05/09	Promedio	Desviación Estándar
Muestra		1192-09	1234-09	1235-09	1236-09	1297-09	1298-10	1299-11		
Parámetros	Incertidumbre	Valores Reportados								
Factor Corrección (%)	± 0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	--	--
Contenido agua (%)	± 0,02	0,38	0,40	0,32	0,36	0,29	0,32	0,37	--	--
Contenido Asfalto (%)	± 0,1	4,5 ⁽¹⁾	4,3	4,1	4,8	4,7	4,5 ⁽¹⁾	4,3	4,5	0,2

⁽¹⁾ El resultado del ensayo reportado es de $4,5 \pm 0,1$ (4,4 a 4,6)

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 no exista suficiente asfalto para formar la película que debe cubrir el agregado y, que además lo mantenga unido. Además, la falta de asfalto puede afectar la durabilidad de la mezcla si no hay suficiente asfalto para producir una capa a prueba de agua.

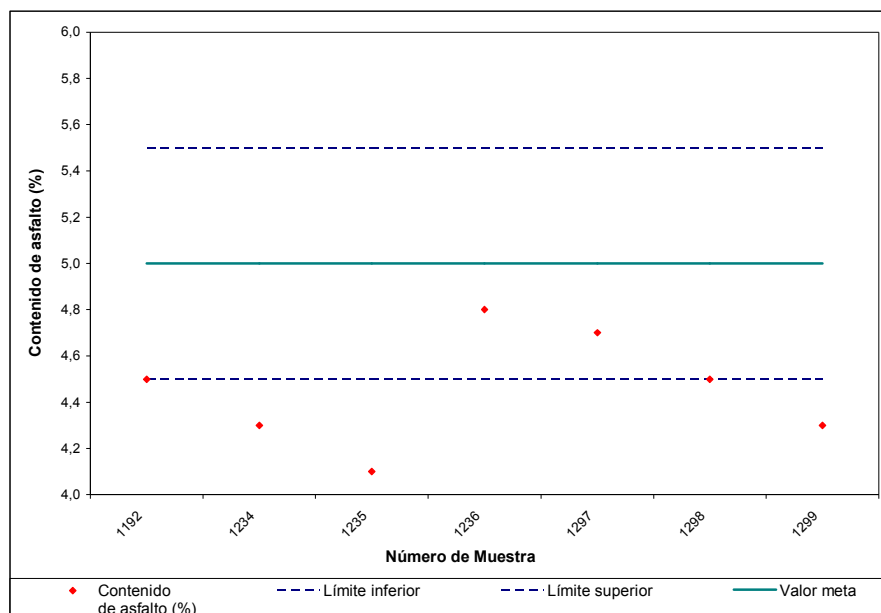


Figura 1. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica ensayadas.

4. 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:

4.1 Sobre la granulometría de la fórmula de trabajo.

Como parte de los análisis que se efectúan en el proceso de auditoría, se estudia granulometría de diseño definida en el informe INF. 2651-2008 con el propósito de comparar la granulometría con las tolerancias establecidas en la Tabla 1 de la Disposición AM-01-2001.

Tabla 4. Granulometría del diseño de mezcla asfáltica de acuerdo con informe INF. 2651-2008

Mallas	Granulometría de diseño	Tolerancias del diseño [‡]	Rango de especificación [‡]
¾ (19,1 mm)	100	100	100
½ (12,5 mm)	92	87* – 97	90 – 100
⅜ (9,5 mm)	79	74 – 84	70 – 90
Nº 4 (4,75 mm)	51	47 – 55	46 – 65
Nº 8 (2,36 mm)	34	30 – 38	28 – 39
Nº 16 (1,18 mm)	24	20 – 28*	16 – 26
Nº 30 (600 µm)	16	12 – 20*	9 – 19
Nº 50 (300 µm)	12	8 – 16	5 – 16
Nº 200 (75 µm)	5,5	2,5 – 7,5	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.

* Los números resaltados se encuentran fuera del rango de especificación.

En la Figura 2 se muestra gráficamente el comportamiento de la granulometría de diseño y la tolerancia correspondiente, contrastadas con los límites de especificación definidos en la Disposición Vial AM-01-2001.

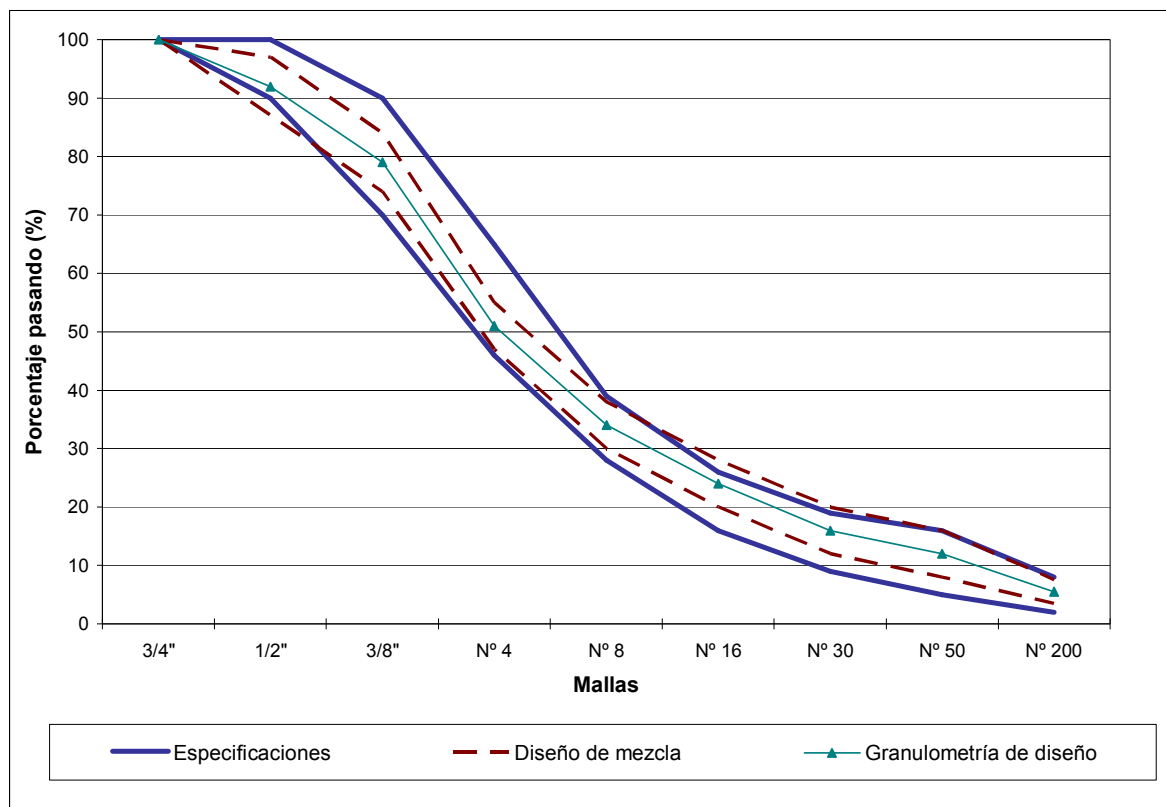


Figura 2. Gráfico comparativo de granulometría de diseño de mezcla, tolerancias y límites de especificación según la Disposición Vial AM-01-2001

Al evaluar el cumplimiento de la tolerancia de la combinación granulométrica del diseño de mezcla utilizado (ver Figura 2), se puede evidenciar que el porcentaje pasando para las mallas N° 16 y N° 30 se encuentran sobre el límite de especificación inferior. En el caso del porcentaje pasando la malla 1/2", la tolerancia de la granulometría del diseño de mezcla se encuentra por debajo del límite inferior del rango de especificación establecido en la Tabla 1 de la Disposición Vial AM-01-2001.

Además, las tolerancia de la mallas N° 50 y N° 200, se encuentran cercanas a los límites de especificación superior. Es importante considerar 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.

4.2 Sobre la granulometría de las muestra de mezcla asfáltica analizadas

Los resultados del ensayo de composición granulométrica realizados por el laboratorio del LanammeUCR a cada una de las muestras de mezcla asfáltica y reportadas en el informe de ensayo I-0571-09 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial, se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de composición granulométrica reportados por el LanammeUCR.

Fecha				19/05/09	20/05/09	21/05/09	22/05/09	26/05/09	27/05/09	28/05/09	Promedio	Desviación Estándar
Muestra				1192-09	1234-09	1235-09	1236-09	1297-09	1298-10	1299-11		
Mallas		Límites de Especificación ‡		(% pasando)								
3/4"	± 0,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	--	--
1/2"	± 0,1	90	100	90,9	90,5	85,8	82,5	92,1	92,8	93,6	89,7	4,08
3/8"	± 0,1	70	90	81,8	82,4	70,6	67,5	81,5	82,6	81,6	78,3	6,38
Nº 4	± 0,1	45	65	54,5	53,8	42,4	41,0	54,3	51,6	50,6	49,7	5,69
Nº 8	± 0,1	28	39	35,7	35,0	28,6	27,6	36,2	33,7	33,6	32,9	3,44
Nº 16	± 0,10	16	26	24,00	23,51	20,02	19,22	24,48	22,82	23,26	22,5	2,03
Nº 30	± 0,08	9	19	16,75	16,64	14,40	14,15	17,34	11,32	17,02	15,4	2,20
Nº 50	± 0,07	5	16	11,40	11,43	10,50	10,00	12,13	7,84	11,94	10,7	1,49
Nº 200	± 0,05	2	8	5,16	5,39	4,92	4,73	5,98	5,37	5,93	5,4	0,47

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

En la Tabla 5 se observa que los datos reportados para las mallas 1/2" y Nº 4 presentan incumplimiento con 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 1235-09 y 1236-09. Además se observa incumplimiento de las especificaciones mencionadas para las mallas 3/8" y Nº 8 para la muestra 1236-09. (ver Figura 3).

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

En las Figura 4, 5 y Figura 6 que muestran el comportamiento de los resultados reportados para las mallas de 1/2", 3/8" y Nº 4, respectivamente, se observa que todos los valores se encuentran debajo del valor meta.

De manera contraria en las Figura 8 y Figura 9, correspondientes a las gráficas de las mallas N° 16 y N° 30, y sus respectivos límites, se observa que todos los resultados reportados de las muestras de mezcla asfáltica ensayadas presentan valores que se encuentran entre el valor meta y el límite superior de especificación.

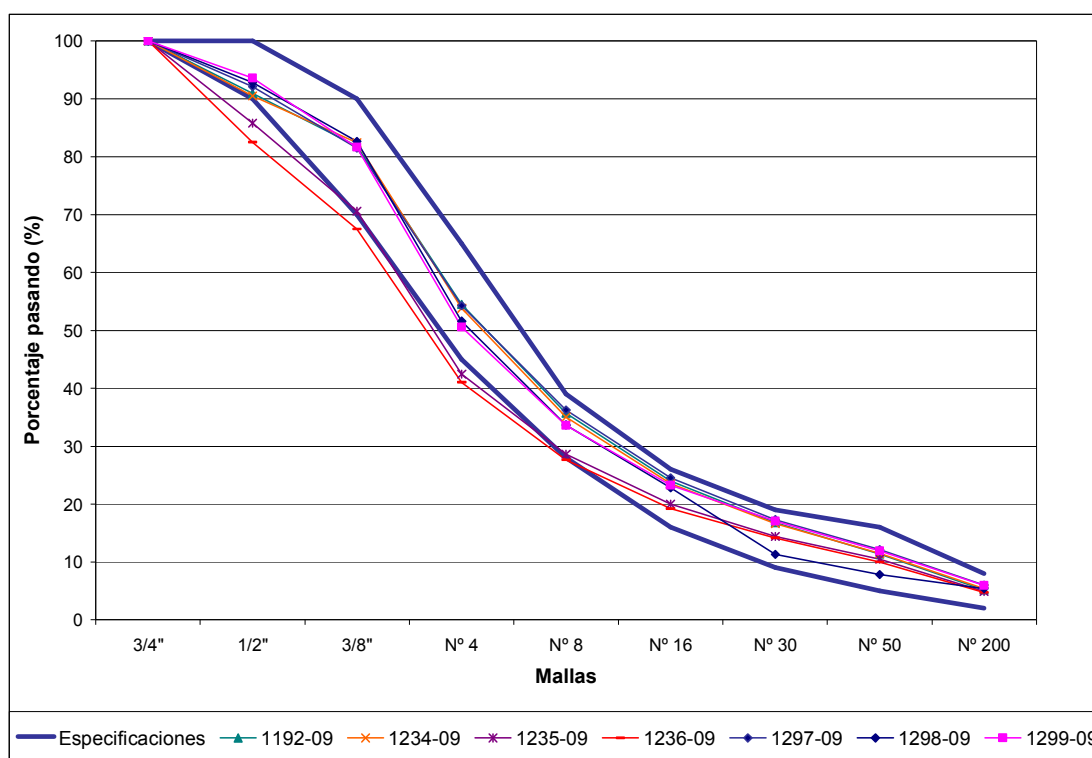


Figura 3. Gráfico de los resultados de los ensayos de granulometría de las muestras tomadas con respecto a los límites de especificación

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.

4.3 Sobre la evaluación de resultados de los parámetros de aceptación de la mezcla asfáltica estudiada

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 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.

A partir de los resultados de ensayo mostrados en la Tabla 6 se estiman los índices de calidad (Q_i y Q_s) para cada una de las mallas de la combinación granulométrica y para el contenido de asfalto, con el fin de valorar la variabilidad del proceso productivo de las muestras de mezcla asfáltica ensayadas. El cálculo de los índices de calidad se realiza siguiendo el procedimiento establecido en la “Actualización de Especificaciones Especiales” emitidas para el Cartel de Licitación LP-01-2005.

Una vez obtenidos los índices de calidad y mediante la aplicación de criterios estadísticos, se determina el porcentaje de los resultados que se encuentran dentro de los límites de especificación (PWL) indicados en la Disposición Vial AM-01-2001. Además, dicha herramienta refleja la variabilidad que existe dentro del conjunto de datos analizados de los parámetros en cuestión. El resultado del análisis realizado se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. 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 $\frac{3}{4}$ "	--	--	--	--
Malla $\frac{1}{2}$ "	-0,06	2,52	50,1%	49,9%
Malla $\frac{3}{8}$ "	1,30	1,83	6,3%	93,7%
Malla N° 4 Ψ	0,83	2,68	20,0%	80,0%
Malla N° 8	1,43	1,77	3,8%	96,2%
Malla N° 16	3,19	1,74	5,7%	94,3%
Malla N° 30 Ψ	5,54	2,28	3,1%	96,9%
Malla N° 50	8,25	6,28	0,0%	100,0%
Malla N° 200 Ψ	7,10	5,60	0,0%	100,0%
Contenido Asfalto Ψ	-0,18	4,27	56,4%	43,6%

Ψ Parámetros valorados dentro del modelo de pago de calidad de los materiales

En la Tabla C de la Actualización de las Especificaciones Especiales del cartel de Licitación LP-01-2005 se establece que para un conjunto de 5 datos, la variabilidad máxima permitida (porcentaje fuera de los límites de especificación) para considerar que el producto posee una calidad aceptable es de un 18% lo cual implica que el restante 82% del conjunto de datos debe mantenerse dentro de los límites de especificación.

Del análisis de los resultados que se presentan en la Tabla 6, se concluye que la variabilidad de los tamaños granulométricos pasando las mallas $\frac{1}{2}$ " y N°4 no es aceptable porque supera el 18% permitido. De igual manera se observa que la variabilidad que presenta el parámetro de contenido de asfalto produce que un 56% de los resultados se encuentre fuera de los límites establecidos en el diseño de mezcla.

Lo anterior toma mayor importancia si se considera que el tamaño granulométrico correspondiente a la malla N° 4 y el contenido de asfalto están definidos como parámetros de pago.

El fundamento normativo que respalda lo descrito anteriormente se detalla a continuación:
"Actualización de Especificaciones Especiales" emitida por el CONAVI el 29 de mayo de 2006.

5. Conclusiones 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 especificados 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 las muestras tomadas, de las mediciones realizadas y los ensayos de laboratorio en las fechas indicadas en la Tabla 5., se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

- a. Los valores del parámetro de contenido de asfalto reportados en el informe de resultados de las muestras ensayadas presentan una variabilidad significativa, lo cual produce que el 56,4% de los resultados se encuentran fuera de los límites de especificación establecidos para el contenido óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$ ($5,9 \pm 0,5\%$) incumpliendo con lo establecido en la Disposición Vial AM-01-2001.
- b. Se evidencia que el rango de tolerancia de la combinación granulométrica con tamaño máximo nominal de 12,5 mm, establecida en el diseño de mezcla, no alcanza el límite inferior de especificación para la malla 1/2" y supera el límite superior de especificación para las mallas N° 16 y N° 30, definido en la Disposición Vial AM-01-2001.
- c. Se observa que los rangos de tolerancia de la granulometría propuesta en el diseño de mezcla se encuentran muy cercanos a los límites de especificación para las mallas N° 50 y N° 200, según la Disposición Vial AM-01-2001 para una granulometría de tamaño máximo nominal de 12,5 mm. Esto evidencia un potencial riesgo de incumplir con la tolerancia establecida en esta Disposición Vial, por lo cual el proceso de producción y control de agregados requiere de un monitoreo constante.
- d. Se determina que los resultados granulométricos reportados para las muestras analizadas presentan incumplimientos para las mallas 1/2", 3/8", N° 4 y N° 8, presentando, para el caso de las mallas 1/2" y N° 4, una variabilidad significativa mayor al 18% permitido en la Actualización de las Especificaciones Especiales del cartel de Licitación LP-01-2005.

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 De Legalidad

Lic. Miguel Chacón Alvarado
Asesor Legal Externo
Auditorías Técnicas LanammeUCR

VISTOBUENOLEGAL:M.CH.A.

ANEXOS

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

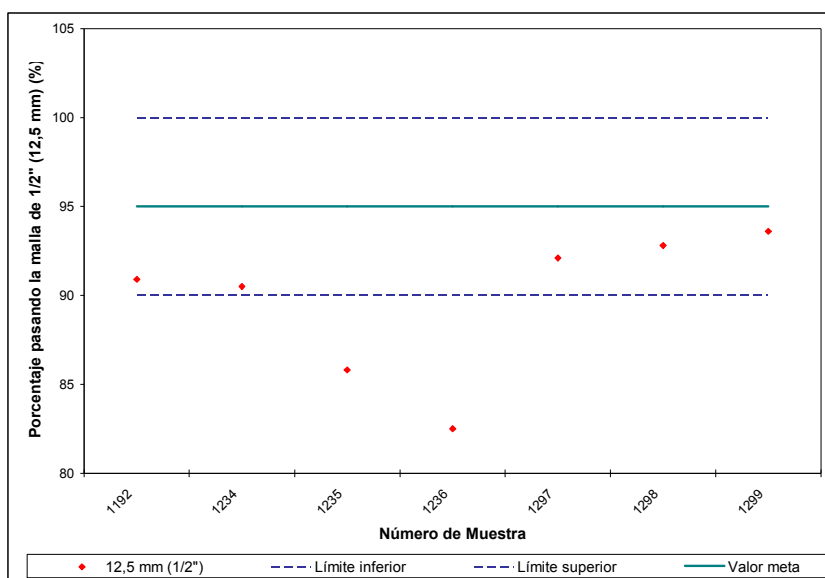


Figura 4. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla de 1/2" (12,5 mm)

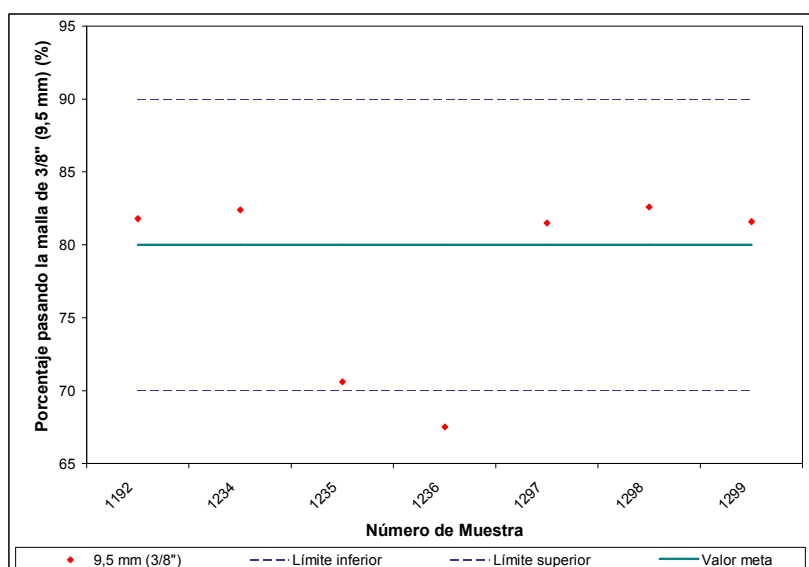


Figura 5. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla de 3/8" (9,5 mm)

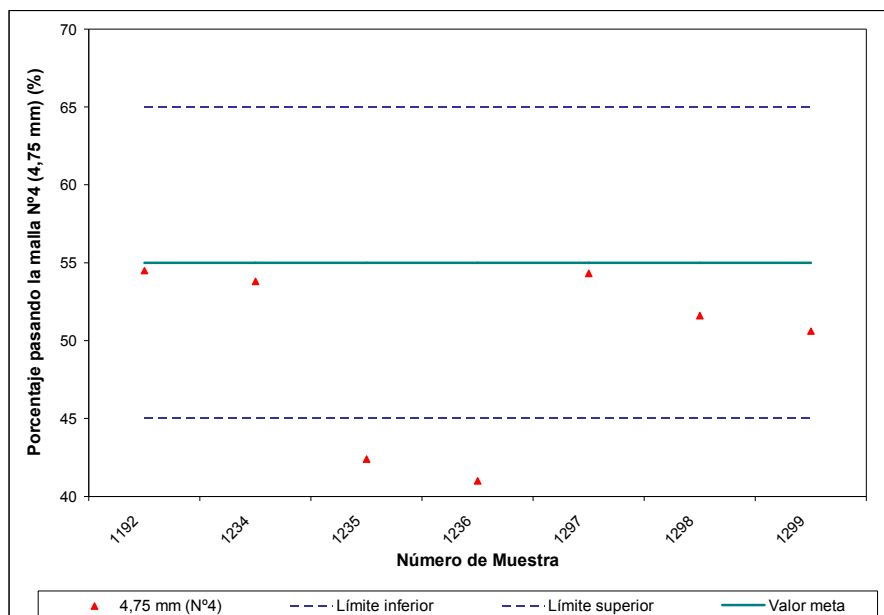


Figura 6. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 4 (4,75 mm)

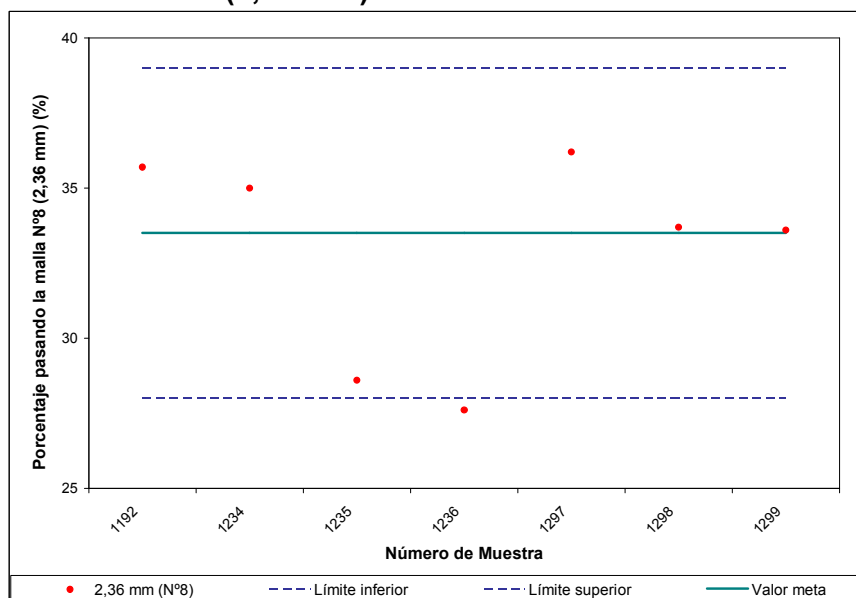


Figura 7. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 8 (2,36 mm)

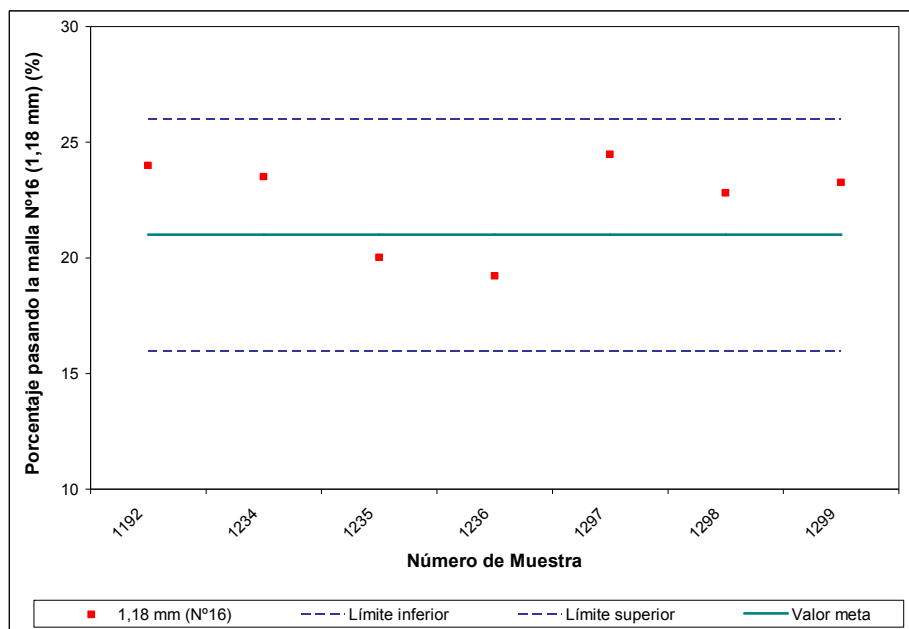


Figura 8. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 16 (1,18 mm)

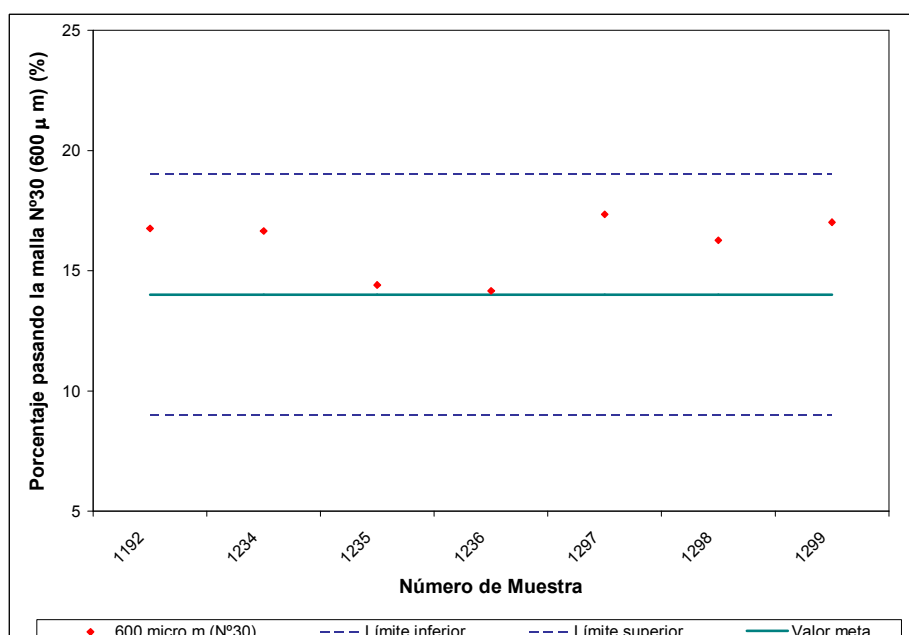


Figura 9. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 30 (600 µm)

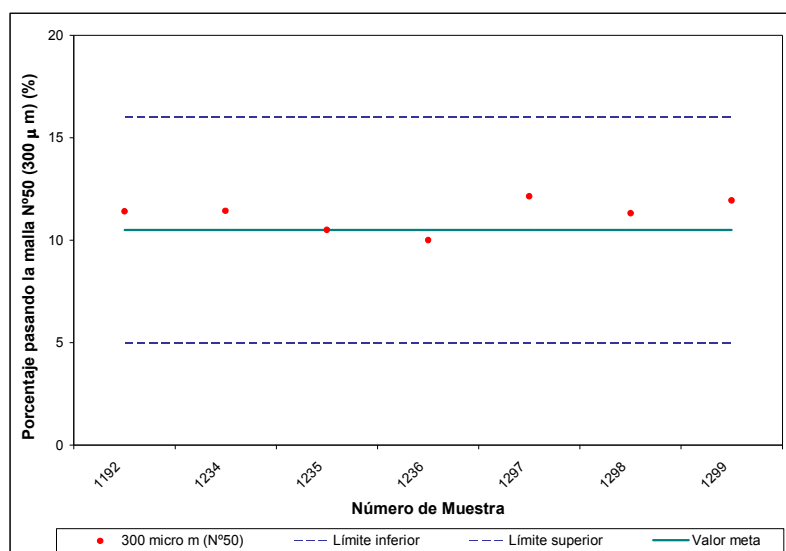


Figura 10. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 50 (300 μ m)

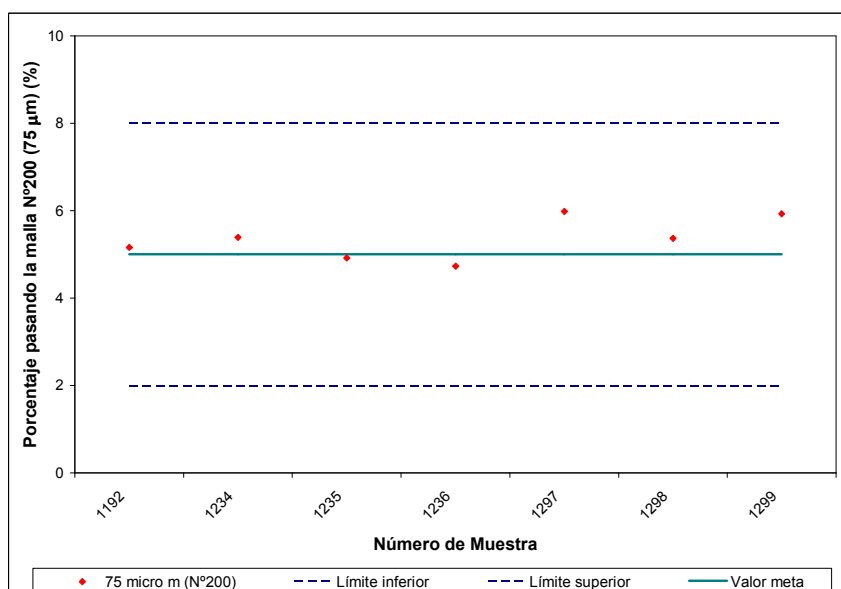


Figura 11. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 200 (75 μ m)

Anexo 2. Informe de Ensayos I-0571-09