

**INFORME
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-42-09**

**EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA
CONSTRUCTORA MECO
LA URUCA, SAN JOSÉ**

**“PROYECTOS LP-01-2005:
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 1-2
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 1-3
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 1-7
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 1-8”**

MAYO 2009

“EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA MECO LA URUCA, SAN JOSÉ”

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
1-2	₡ 5 943 902 947
1-3	₡ 4 857 503 870
1-7	₡ 6 410 115 450
1-8	₡ 7 159 185 013

Área auditada:

- Mezcla Asfáltica fabricada en la planta productora de mezcla asfáltica en caliente, Constructora MECO ubicada en La Uruca, bajo la responsabilidad del Organismo de Inspección de la Zona de Conservación Vial 1-2

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

Auditores: Ingenieros Ellen Rodríguez Castro y Víctor Cervantes Calvo

Asesor Legal Externo: Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance de la auditoría:

- Visita a la Planta productora de MECO ubicada en La Uruca 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: 3 de febrero al 12 de febrero de 2009
- Informe de Ensayo I-0305-09 entregado el 13 de abril de 2009 que incluye las muestras identificadas como (0214, 0227, 0243, 0247, 0256, 0278, 0294)-09.
- Normativa contractual: Cartel de Licitación LP-01-2005, Disposición Vial AM-01-2001.

1. Objetivo de las auditorías técnicas

El propósito de las auditorías técnicas efectuadas por el LanammeUCR es el de 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 aspectos señalados.

Las observaciones emitidas 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 está produciendo en Planta MECO-La Uruca, 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. Antecedentes

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

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

Tabla 1. Zonas a las que distribuye Mezcla Asfáltica en Caliente la planta de producción de Constructora MECO ubicada en La Uruca

Zona	Descripción
Zona 1-2	San José, Escazú, Puriscal, Mora, Santa Ana y Turrubares
Zona 1-3	Desamparados, Curridabat, Acosta, Tarrazú, Aserri, Dota y León Cortés
Zona 1-7	Cartago, La Unión, Oreamuno, El Guarco y Curridabat
Zona 1-8	Alvarado, Paraíso, Jiménez y Turrialba

Las actividades llevadas a cabo por el equipo de auditoría, con el apoyo del laboratorio de campo del LanammeUCR, consistieron en visitar las instalaciones de la planta productora durante un periodo de producción de mezcla asfáltica en caliente definido². En cada visita se eligió una vagoneta cargada con mezcla asfáltica para obtener una muestra representativa de la producción. Al final del periodo de visitas se tomó 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-6307³/ASTM D-95⁴) y la composición granulométrica (ASTM D-5444⁵) 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 para 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.

En el apartado siguiente 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.

² Los días 3, 4, 5, 6, 9, 11 y 12 de febrero de 2009 se obtuvo muestra de la producción de mezcla.

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

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

⁵ ASTM D-5444: "Análisis mecánico del agregado extraído"

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 tomadas:

3.1 Sobre la granulometría de la fórmula de trabajo.

En la visita inicial realizada por el equipo auditor junto con los técnicos del laboratorio de campo a las instalaciones de la planta MECO, los personeros del Laboratorio Ingeniería Técnica de Pavimentos (ITP) indican que el informe de diseño de mezcla vigente para la producción de la mezcla asfáltica en caliente corresponde al identificado como ITP-451-2008 (fecha de elaboración 24 de agosto de 2008 por ITP). Los parámetros generales definidos en este informe se muestran en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Parámetros generales del diseño de mezcla asfáltica según informe ITP-451-2008

Parámetro	Valor
Contenido óptimo de asfalto	5,60 % (sobre el peso de mezcla) 5,90 % (sobre el peso del agregado)
Proporción de agregados	58 % (Fracción de finos) 21 % (Fracción de intermedios) 21 % (Fracción de gruesos)
Granulometría de diseño	Ver Tabla 3

Tabla 3. Granulometría del diseño de mezcla asfáltica de acuerdo con informe ITP-451-2008

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)	23	19 – 27	16 – 26
Nº 30 (600 µm)	16	12 – 20	9 – 19
Nº 50 (300 µm)	11	7 – 15	5 – 16
Nº 200 (75 µm)	5,8	3,8 – 7,8	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

En la Figura 1 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.

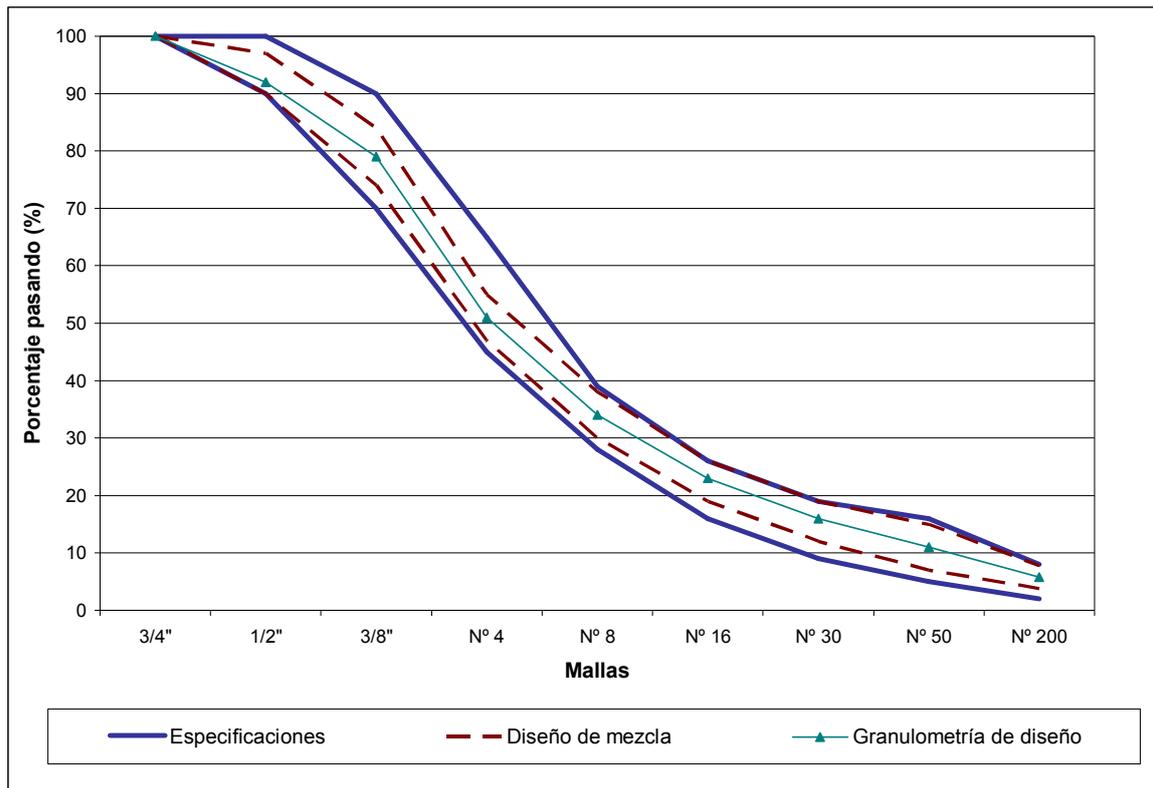


Figura 1. Gráfico comparativo de granulometría de diseño de mezcla, tolerancias y límites de especificación según la Disposición Vial AM-01-2001

Al examinar el cumplimiento de la tolerancia de la combinación granulométrica del diseño de mezcla aplicado (ver Figura 1), se puede evidenciar que el porcentaje pasando para las mallas 1/2", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 200, se encuentran cercanas a los límites de especificación (al límite de especificación inferior, para el caso de la malla de 1/2", y al límite de especificación superior para las demás mallas indicadas).

Asimismo, en la Figura 1, se aprecia el cumplimiento de la combinación granulométrica propuesta en el diseño de mezcla con respecto a los límites de tolerancia definidos en las especificaciones contractuales. Sin embargo es importante contemplar que dicha cercanía entre los límites podría representar un riesgo de

incumplimiento de la tolerancia, al considerar la variabilidad propia del proceso de producción.

3.2 Sobre la granulometría de las muestra de mezcla asfáltica analizadas

Los resultados de los ensayos de contenido de asfalto y composición granulométrica realizados por el laboratorio del LanammeUCR a cada una de las muestras de mezcla asfáltica, se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados reportados en el informe de ensayo I-0305-09 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR.

Fecha				03/02/09	04/02/09	05/02/09	06/02/09	09/02/09	11/02/09	12/02/09	Prom	Desv. Estánd	
Muestra				0214-09	0227-09	0243-09	0247-09	0256-09	0278-09	0294-09			
Parámetros	Incertidum del ensayo	Límites de Especificación [‡]											
Factor Corrección (%)	± 0,02	--	--	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	--	--	
Contenido agua (%)	± 0,01	--	--	0,06	0,04	0,06	0,06	0,07	0,09	0,14	--	--	
Contenido Asfalto (%)	± 0,1	5,1	6,1	5,4	5,4	5,5	5,8	5,6	5,8	5,9	5,6	0,2	
Mallas		% pasando											
¾"	± 0,2	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	--	--	
½"	± 0,1	90	100	91,7	93,7	93,7	89,9 ⁽¹⁾	92,8	94,0	92,4	92,6	1,45	
3/8"	± 0,1	70	90	79,4	82,4	85,7	79,9	80,8	81,1	85,5	82,1	2,56	
Nº 4	± 0,1	45	65	44,2 ⁽²⁾	48,9	55,2	49,2	49,1	51,0	54,2	50,3	3,69	
Nº 8	± 0,1	28	39	29,9	31,10	34,7	32,0	31,6	33,3	35,0	32,5	1,89	
Nº 16	± 0,09	16	26	21,60	21,99	24,10	22,46	22,07	23,64	24,4	22,9	1,12	
Nº 30	± 0,08	9	19	15,99	16,21	17,90	17,04	16,78	17,85	18,5	17,2	0,94	
Nº 50	± 0,07	5	16	11,89	12,08	13,25	12,75	12,55	13,26	13,8	12,8	0,68	
Nº 200	± 0,04	2	8	6,11	6,23	6,86	6,67	6,56	6,76	7,1	6,6	0,35	

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

⁽¹⁾ El resultado del ensayo reportado es de 89,9±0,1 (89,8 a 90,0)

⁽²⁾ El resultado del ensayo reportado es de 44,2±0,1 (44,1 a 44,3)

En la Tabla 4 se observa que el 97% de los resultados reportados en el informe de ensayo I-0305-09, se encuentran dentro de los límites de especificación establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001 para la granulometría de diseño aplicada (tamaño máximo nominal de 12,5 mm). Sólo dos resultados de los ensayos presentan valores cercanos al límite inferior de especificación, concretamente el valor reportado para la malla Nº 4 (4,75 mm), correspondiente a la muestra 0214-09, el cual incumple con el

límite inferior. El otro valor, para la malla de $\frac{1}{2}$ " (12,5 mm) correspondiente a la muestra 0247-09, cumple el límite inferior al valorar la incertidumbre del resultado. 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 y Figura 6 que muestran el comportamiento de los resultados reportados para las mallas de $\frac{1}{2}$ " y N° 4, respectivamente, se observa que todos los valores se encuentran entre el valor meta y el límite inferior de especificación. (ver Figura 2).

De manera contraria en las Figura 8, Figura 9, Figura 10 y Figura 11, correspondientes a las gráficas de las mallas N° 16, N° 30, N° 50 y N° 200, 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. (ver Figura 2)

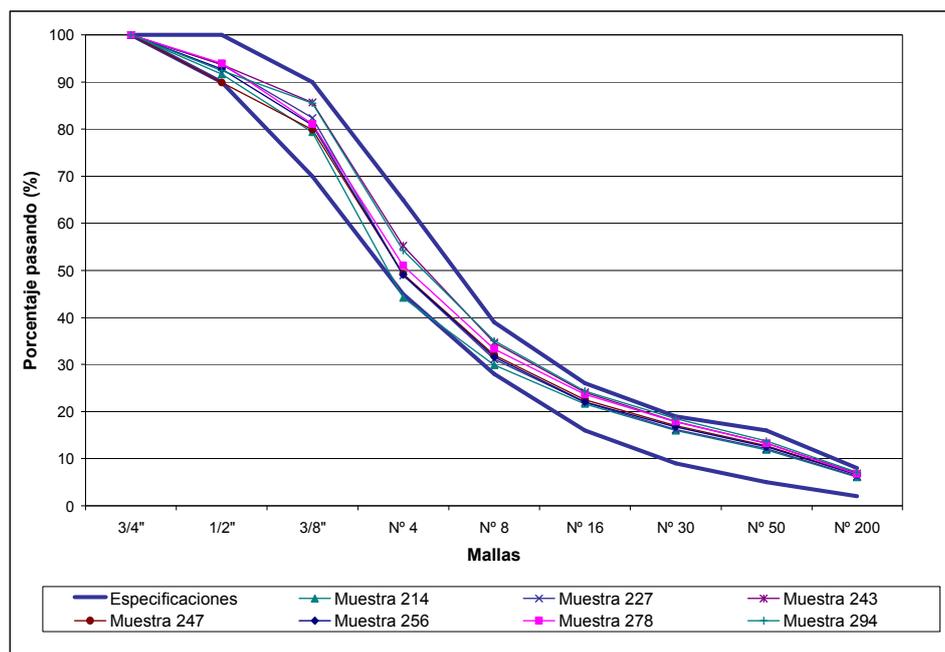


Figura 2. Gráfico de los resultados de los ensayos de granulometría de las muestras tomadas con respecto a los límites de especificación

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

En la Tabla 4 y en la Figura 3 se presentan los resultados de contenido de asfalto obtenido en cada una de las muestras ensayadas. Se observa que todos los resultados se encuentran dentro de la tolerancia establecida en el apartado 401.06. inciso c) de la Disposición Vial AM-01-2001 (óptimo $\pm 0,5\%$).

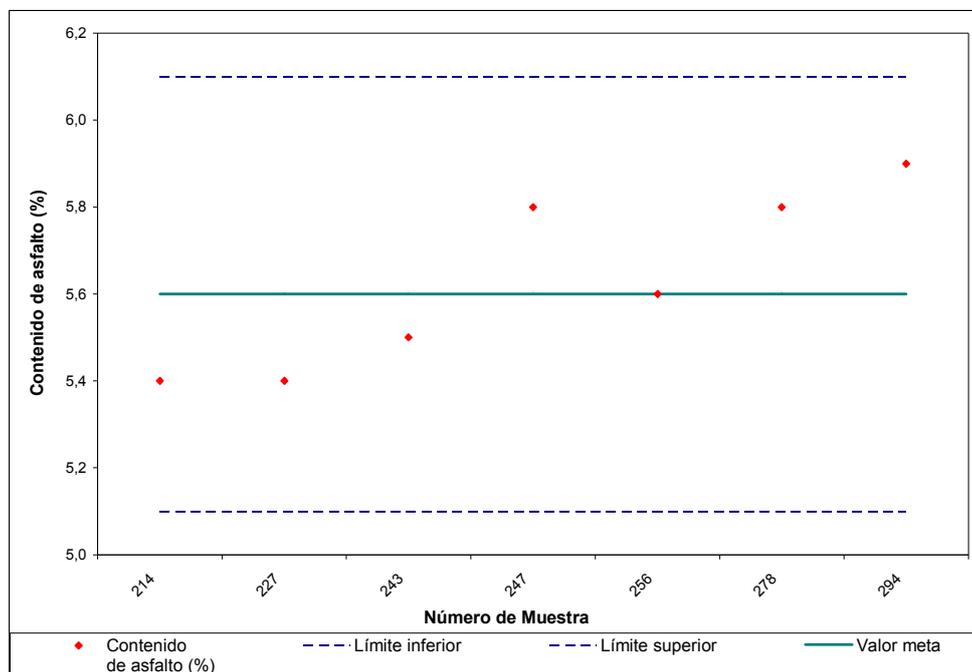


Figura 3. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica ensayadas.

3.4 Sobre evaluación de resultados de 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 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 mediante herramientas estadísticas los resultados de control y verificación de calidad que se emiten, 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 las muestras de mezcla asfáltica ensayada se estiman, a partir de los resultados de ensayo mostrados en el Tabla 4., 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. 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 5.

Tabla 5. 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 $\frac{1}{2}$ "	1,80	5,11	6,0%	94,0%
Malla $\frac{3}{8}$ "	4,73	3,08	1,0%	99,0%
Malla N° 4 Ψ	1,43	4,00	9,8%	90,2%
Malla N° 8	2,38	3,43	2,0%	98,0%
Malla N° 16	6,13	2,77	1,6%	98,4%
Malla N° 30 Ψ	8,73	1,94	5,0%	95,0%
Malla N° 50	11,44	4,70	0,2%	99,8%
Malla N° 200 Ψ	13,35	4,02	0,4%	99,6%
Contenido Asfalto Ψ	2,57	2,29	1,0%	99,0%

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 la variabilidad máxima permitida (porcentaje fuera de los límites de especificación) para considerar que el producto posee una

calidad aceptable es de un 18% para un conjunto de 7 datos, implicando que el restante 82% del conjunto de datos esté dentro de los límites de especificación.

Del análisis de los resultados que se presentan en la Tabla 5, se concluye que la variabilidad de la mezcla asfáltica analizada en los parámetros de contenido de asfalto y tamaños granulométricos no es significativa, debido a que el porcentaje fuera de los límites de especificación, en todas las muestras ensayadas, es menor a la variabilidad máxima permitida contractualmente de 18%.

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

- a. 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 de 1/2", 3/8", N° 8, N° 16, N° 30, 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 el riesgo de incumplir con la tolerancia establecida esta Disposición Vial, por lo cual el proceso de producción y control de agregados requiere de un monitoreo constante.
- b. Se determina que el 97% de los resultados reportados para las muestras analizadas no se presentan incumplimientos de tamaño granulométrico para la granulometría de diseño.

- c. Los valores de contenido de asfalto reportado en los resultados de las muestras ensayadas, se encuentran dentro de los límites de especificación establecidos para el contenido óptimo de asfalto (óptimo $\pm 0,5\%$) de conformidad con la Disposición Vial AM-01-2001.
- d. Los parámetros de contenido de asfalto y tamaño granulométrico no presentan una variabilidad significativa debido a que es menor al 18% para todos los parámetros analizados en las muestras ensayadas.

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

ANEXOS

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

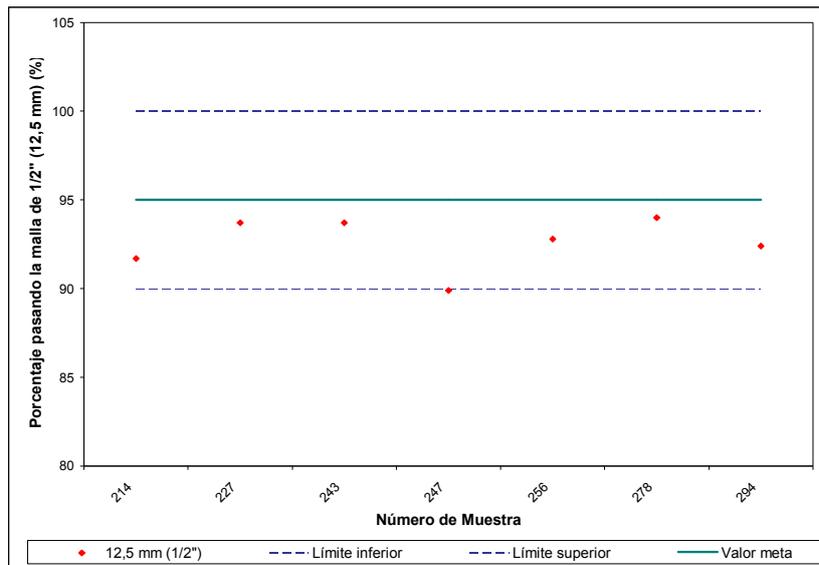


Figura 4. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla de 1/2" (12,5 mm)

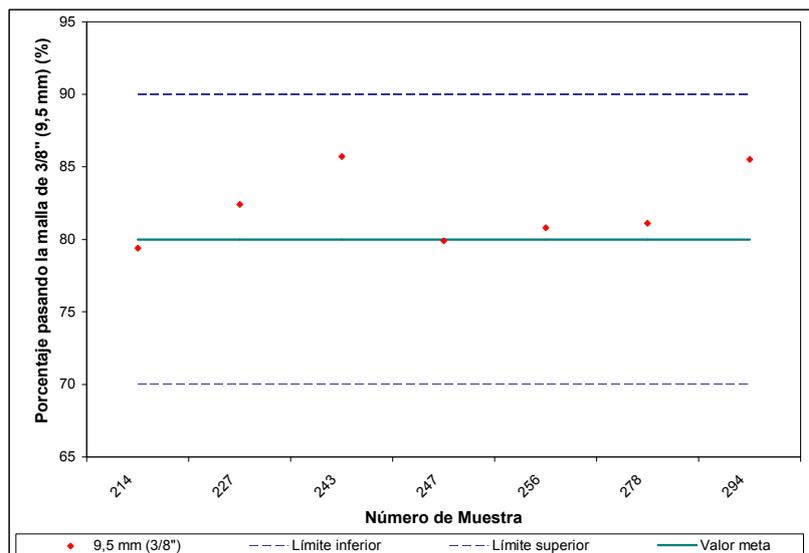


Figura 5. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla de 3/8" (19,5 mm)

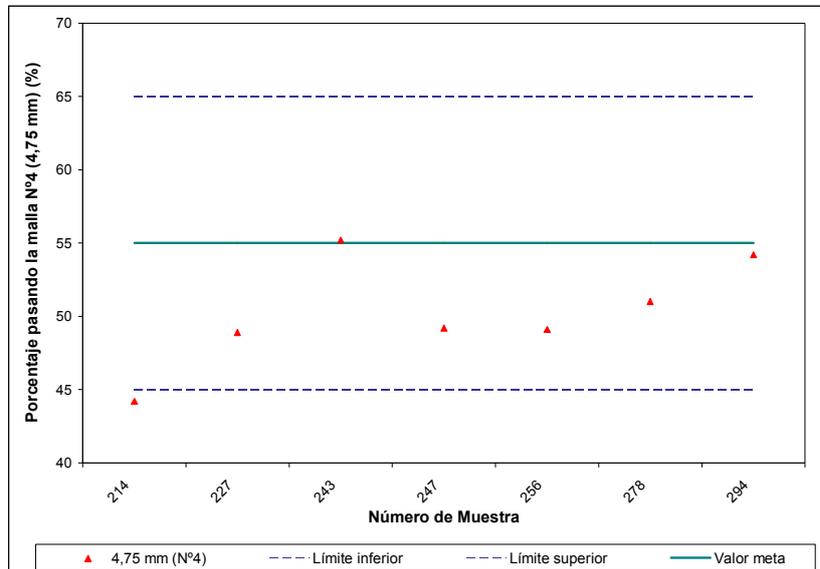


Figura 6. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 4 (4,75 mm)

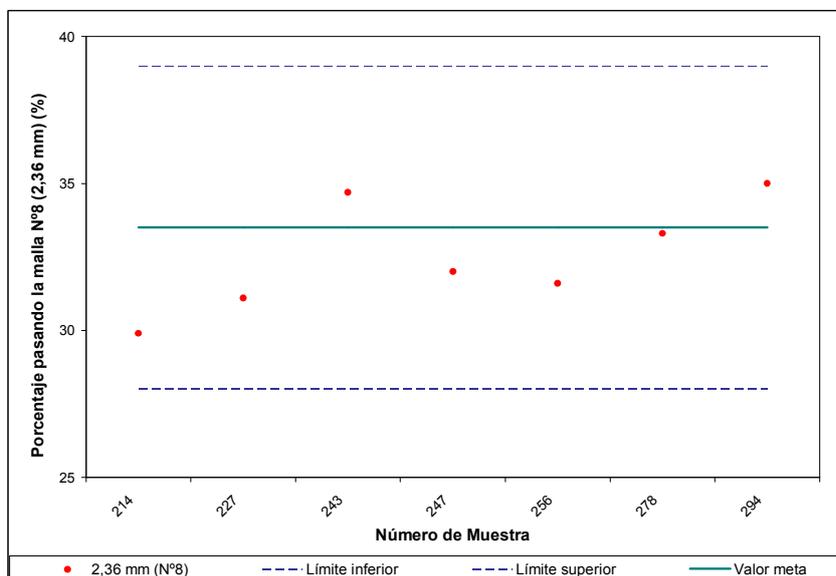


Figura 7. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 8 (2,36 mm)

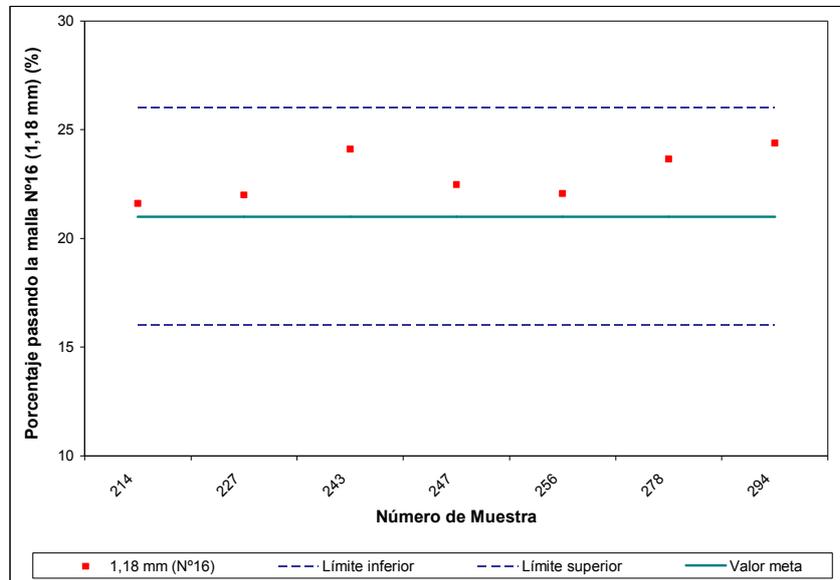


Figura 8. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 16 (1,18 mm)

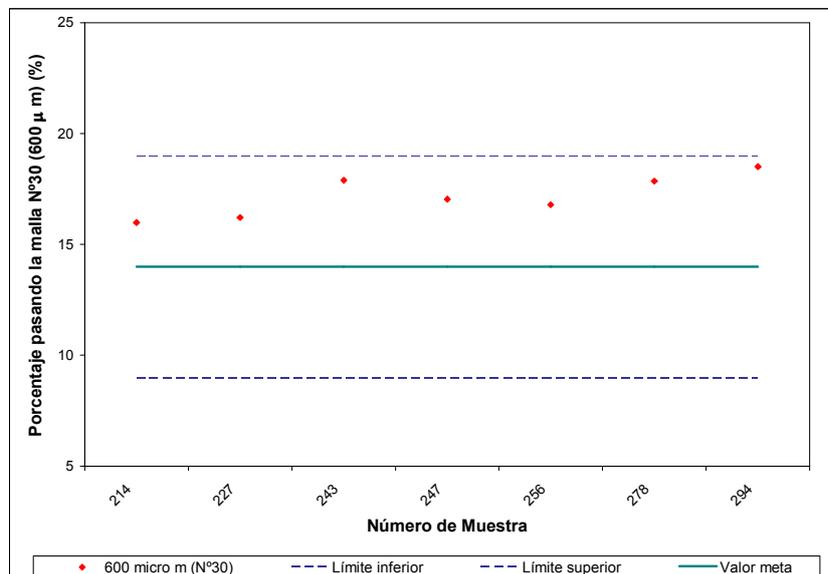


Figura 9. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 30 (600 μm)

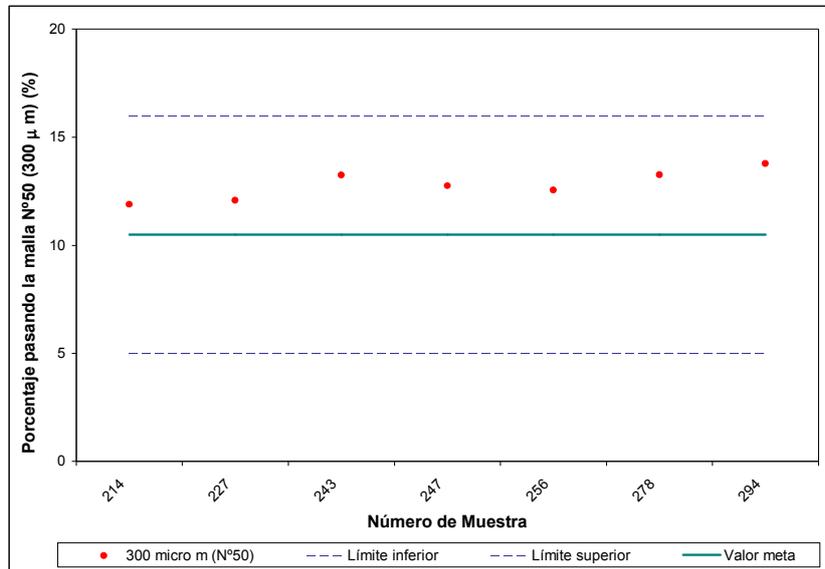


Figura 10. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 50 (300 μm)

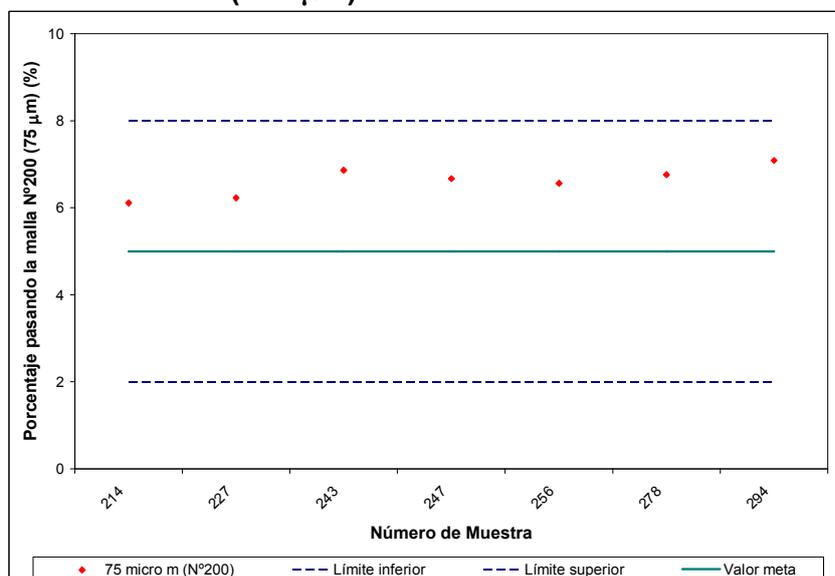


Figura 11. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 200 (75 μm)

Anexo 2. Informe de Ensayos I-0305-09