

**INFORME
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-52-09**

**EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA
EMPRESA QUEBRADORES DEL SUR
LOS CHILES, PÉREZ ZELEDÓN**

**“PROYECTOS LP-01-2005:
CONSERVACIÓN VIAL RED NACIONAL PAVIMENTADA, ZONA 4-1”**

MAYO 2009

“EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA QUEBRADORES DEL SUR, PÉREZ ZELEDÓN”

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
4-1	₡ 13.432.130.966

Área auditada:

- Mezcla Asfáltica fabricada en la planta productora de mezcla asfáltica en caliente Quebradores del Sur ubicada en Los Chiles de Pérez Zeledón, bajo la responsabilidad de la Zona de Conservación Vial 4-1

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:

- Visita a la Planta productora Quebradores del 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 muestreo: 3 al 11 de marzo de 2009
- Informe de Ensayos I-0275-09 de las muestras (0417, 0418, 0419, 0504, 0505, 0506)-9 entregado el 13 de abril de 2009
- Normativa contractual: Cartel de Licitación LP-01-2005, Disposición Vial AM-01-2001.

1. Objetivo de los informes de auditoría

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.

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 está produciendo en la Planta de Producción de la empresa Quebradores del Sur ubicada en Pérez Zeledón, 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 especificaciones especiales del cartel de Licitación LP-01-2005.

2. Antecedentes

La planta de producción de mezcla asfáltica en caliente de la empresa Quebradores del Sur proporciona mezcla asfáltica a la empresa Convisur, encargada de las labores de Conservación Vial de la red nacional pavimentada a la zona 4-1, que abarca las localidades de Pérez Zeledón y Osa.

Las actividades llevadas a cabo por el equipo de auditoría técnica, con el apoyo del laboratorio de campo del LanammeUCR, consistieron en visitar las instalaciones de la planta productora durante el periodo de producción de mezcla asfáltica en caliente, en cada visita se eligió una vagoneta con mezcla asfáltica para obtener una muestra representativa de la producción. Dicha actividad se llevó a cabo por un tiempo aproximado de dos semanas. Al final del periodo de visitas se tomó un total de seis muestras¹ de la mezcla asfáltica producida, las cuales fueron posteriormente

¹ Los días 3, 4, 5, 6, 9, 10 y 11 de marzo de 2009 se obtuvo muestra de la producción de mezcla.

ensayadas en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). Los ensayos realizados consistieron en determinar el contenido de asfalto (ASTM D-6307²/ASTM D-95³) y la composición granulométrica (ASTM D-5444⁴) 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 el establecer el factor de corrección tipificado por el ensayo de contenido de asfalto (ASTM D-6307), para el mismo fin se determina también el contenido de humedad (ASTM D-95) presente en cada una de las muestras de mezcla asfáltica.

3. Observaciones

A continuación se detallan las observaciones realizadas por los auditores como resultado 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

La producción de mezcla asfáltica en caliente se realiza según lo establecido en el informe de diseño de mezcla INF. 243-2008 elaborado en mayo de 2008 por el Laboratorio LGC Ingeniería de Pavimentos S.A., del cual el encargado del laboratorio de control de calidad entregó una copia a esta auditoría. Los parámetros generales de la mezcla asfáltica producida según el diseño de mezcla aplicado se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros generales de diseño de mezcla asfáltica

Parámetro	Valor
Contenido óptimo de asfalto	5,70 % (sobre el peso de mezcla) 6,00% (sobre el peso de los agregados)
Proporción de agregados	58 % (Fracción de finos) 34 % (Fracción de intermedios) 8 % (Fracción de gruesos)
Granulometría de diseño	Ver Tabla 2

² ASTM D-6307: "Contenido de asfalto de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método de ignición"

³ ASTM D-95: "Contenido de agua en petróleo y materiales bituminosos por destilación"

⁴ ASTM D-5444: "Análisis mecánico del agregado extraído"

Tabla 2. Granulometría del diseño de mezcla asfáltica de acuerdo con informe INF. 243-2008

Tamiz	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)	88	83 – 93	70 – 90
Nº 4 (4,75 mm)	50	46 – 54	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)	17	13 – 21	9 – 19
Nº 50 (300 µm)	12	8 – 16	5 – 16
Nº 200 (75 µm)	6,0	4 – 8	2 – 8

[§] Según lo establecido para la graduación de 12,5 mm en la Tabla Nº 1 del apartado 401.04.02.01 de la Disposición Vial AM-01-2001

En la siguiente figura se observa el comportamiento de la granulometría de diseño y la tolerancia correspondiente, con respecto a los límites de especificación definidos en la Disposición Vial AM-01-2001.

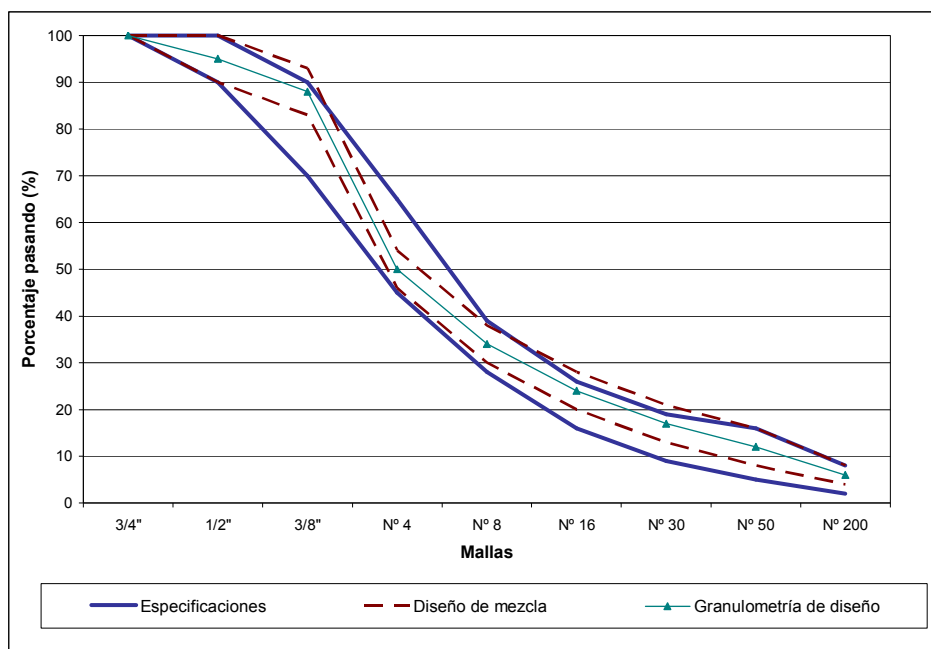


Figura 1. Gráfico comparativo de granulometría de diseño de mezcla, tolerancias y límites de especificación según la Disposición Vial AM-01-2001

Al contrastar la tolerancia permitida para la combinación granulométrica resultante contra los límites de especificación indicados en el diseño de mezcla aplicado (ver Figura 1), se puede evidenciar que las tolerancias definidas para las mallas 3/8", N° 6 y N° 30 exceden el límite de especificación superior.

Además, las tolerancias de las mallas N° 4, N° 8, N° 50 y N° 200, se encuentran cercanas a los límites de especificación (al límite de especificación inferior, para el caso de la malla N° 4 y al límite de especificación superior para las demás mallas indicadas). Es importante considerar 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 en el LanammeUCR a cada una de las muestras de mezcla asfáltica, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados reportados en el Informe de ensayo I-0275-09 emitido por el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR.

Fecha				03/03/09	04/03/09	05/03/09	09/03/09	10/03/09	11/03/09	Prom	Desv. Estánd
Muestra				0417-09	0418-09	0419-09	0504-09	0505-09	0506-09		
Parámetros	Incertidumbre del ensayo	Límites de Especificación [‡]									
Factor de Corrección (%)	± 0,06	--	--	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	--	--
Contenido de agua (%)	± 0,01	--	--	0,07	0,09	0,08	0,09	0,08	0,10	--	--
Contenido de Asfalto (%)	± 0,1	5,2	6,2	5,7	5,2	6,0	5,7	5,6	5,6	5,6	0,3
Mallas (% pasando)											
3/4"	± 0,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	--	--
1/2"	± 0,1	90	100	94,2	93,4	92,7	93,3	94,6	93,1	93,6	0,71
3/8"	± 0,1	70	90	84,9	83,0	83,6	82,3	83,6	81,3	83,1	1,24
N° 4	± 0,1	45	65	51,2	52,0	52,2	46,1	49,2	42,4	48,9	3,90
N° 8	± 0,1	28	39	31,6	31,4	34,4	29,4	32,4	26,5	31,0	2,71
N° 16	± 0,08	16	26	20,97	20,97	23,71	20,54	22,73	18,00	21,20	1,97
N° 30	± 0,07	9	19	15,21	15,41	17,26	14,94	16,83	12,76	15,40	1,60
N° 50	± 0,06	5	16	10,99	11,16	12,25	10,64	12,03	8,36	10,90	1,39
N° 200	± 0,04	2	8	5,73	5,79	5,23	5,27	5,74	2,56	5,10	1,25

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

Se observa en la que el 96% de los resultados reportados en el informe de ensayo I-0275-09, se encuentran dentro de los límites de especificación establecidos en la Disposición AM-01-2001 para la granulometría de diseño aplicada. No obstante la muestra número 0506-09 presenta incumplimiento con respecto al límite de especificación inferior para las mallas N° 4 (4,75 mm) y N° 8 (2,36 mm).

En las Figura 5, Figura 9, Figura 10 y Figura 11 correspondientes a las mallas 3/8", N° 30, N° 50 y N° 200, respectivamente que se adjuntan en el Anexo 1, se observa que la mayoría de los resultados reportados en el informe de ensayos presentan valores que se encuentran en entre el valor meta y el límite superior de especificación. (ver Figura 2)

Por el contrario, en las Figura 4, Figura 6 y Figura 7, correspondientes a las mallas 1/2", N° 4 y N° 8 (ver Anexo 1), la mayoría de los valores resultantes del ensayo de granulometría presentados en el informe de ensayo, se ubican entre el valor meta y el límite inferior de especificación. (ver Figura 2)

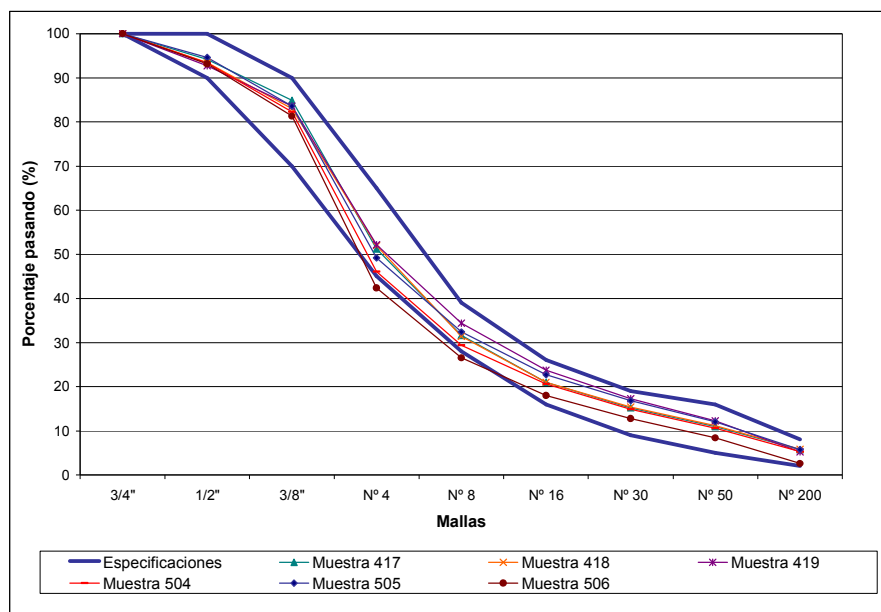


Figura 2. Gráfico de los resultados de los ensayos de granulometría de las muestras tomadas con respecto a los límites de especificación

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

En la Tabla 3 y en la Figura 3 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 Quebradores del Sur.

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 $\pm 0,5\%$).

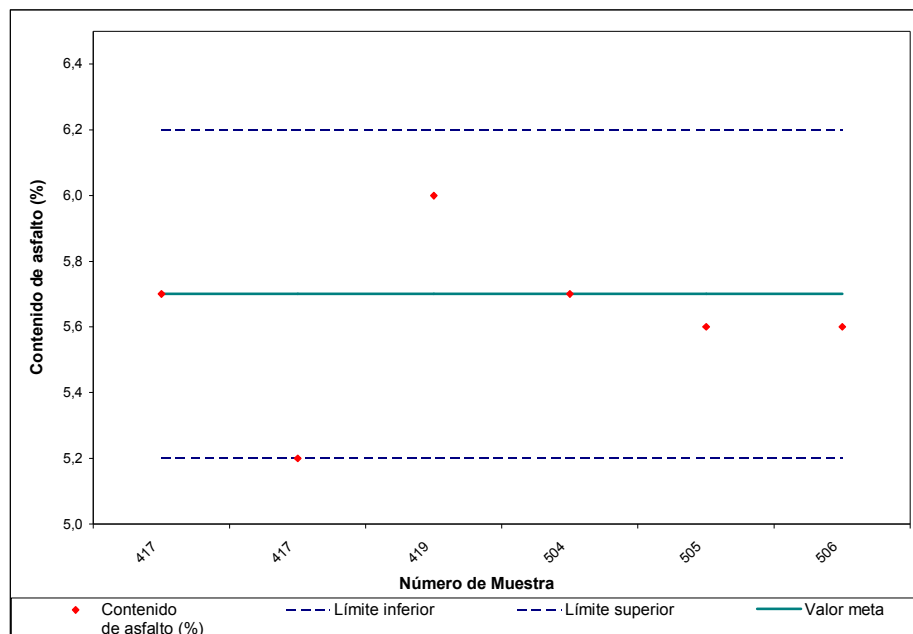


Figura 3. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto en las muestras de mezcla asfáltica ensayadas

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 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 propósito de valorar la variabilidad del proceso productivo de las muestras de mezcla asfáltica ensayadas se estiman, a partir de los resultados de ensayo mostrados en el Tabla 3., 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-01-2005⁵.

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 4.

Tabla 4. Índices de calidad de la mezcla asfáltica.

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 “	4,99	9,06	0,2%	99,8%
Malla 3/8”	10,62	5,57	0,1%	99,9%
Malla N° 4 ^ψ	0,99	4,14	18,0%	82,0%
Malla N° 8	1,09	2,97	14,8%	85,2%
Malla N° 16	2,62	2,46	0,5%	99,5%
Malla N° 30 ^ψ	4,01	2,26	3,2%	96,8%
Malla N° 50	4,24	3,66	0,3%	99,7%
Malla N° 200 ^ψ	2,45	2,36	0,3%	99,7%
Contenido Asfalto ^ψ	1,68	2,19	3,7%	96,3%

^ψ Parámetros valorados dentro del modelo de pago de calidad de los materiales

⁵ La “Actualización de Especificaciones Especiales” fue emitida por el CONAVI el 29 de mayo de 2006.

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) es de un 20% para un conjunto de 7 datos, implicando que el restante 80% del conjunto de datos esté dentro de los límites de especificación

Del análisis de los resultados que se presentan en la Tabla 4, 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 20%.

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 3., se hacen los siguientes comentarios, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

- a. 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, excede el límite de especificación superior para las mallas 3/8", N° 16 y N° 30, definido en la Disposición Vial AM-01-2001.
- b. El rango de tolerancia de combinación granulométrica establecida para los tamaños granulométricos N° 4, N° 8, N° 50 y N° 200, se encuentran muy cercanos a los límites de especificación establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001 para una granulometría con tamaño máximo nominal de 12,5

- mm. Lo cual implica el riesgo de incumplir con los límites de especificación como resultado de la variabilidad propia del proceso de producción.
- c. De acuerdo con los resultados de la granulometría de la mezcla asfáltica analizada se determina que la muestra número 0506-09 no alcanza el límite inferior de especificación para las mallas N° 4 (4,75 mm) y N° 8 (2,36 mm).
 - d. Se determina que no se presentan incumplimientos de tamaño granulométrico en ninguna de las restantes muestras analizadas, para la granulometría de diseño aplicada.
 - e. Los valores de contenido de asfalto reportado en los resultados de las muestras ensayadas, se encuentran dentro de los límites del contenido óptimo de asfalto establecido en el diseño de mezcla, conforme con la Disposición Vial AM-01-2001 (óptimo $\pm 0,5\%$).
 - f. Los parámetros de contenido de asfalto y tamaño granulométrico no presentan una variabilidad significativa debido a que es menor al 20% 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

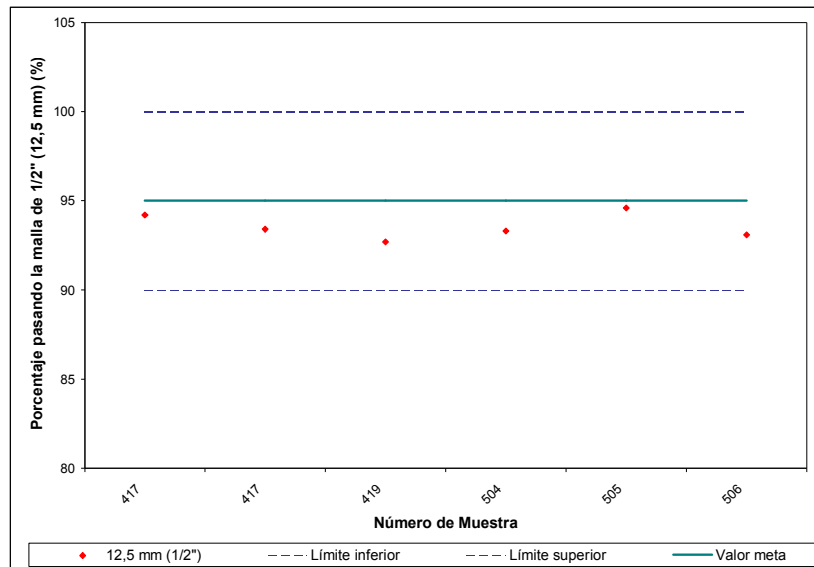


Figura 4. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla de 1/2" (12,5 mm)

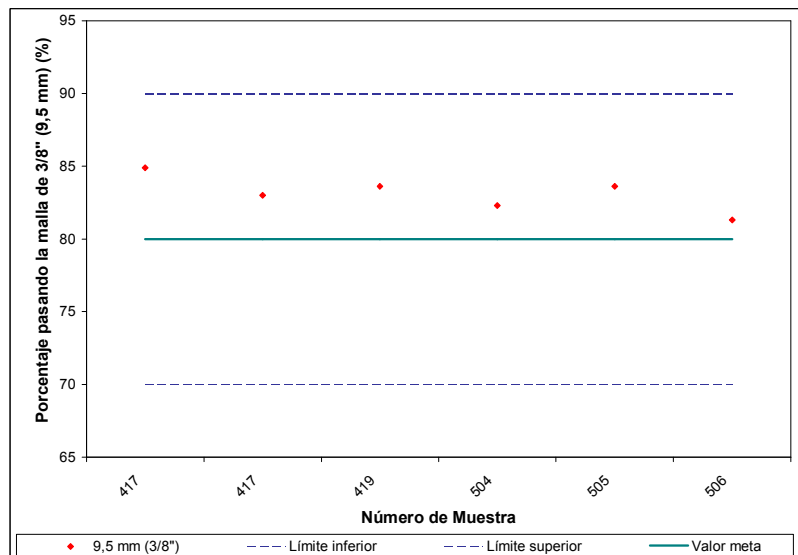


Figura 5. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la

mallas de 3/8" (19,5 mm)

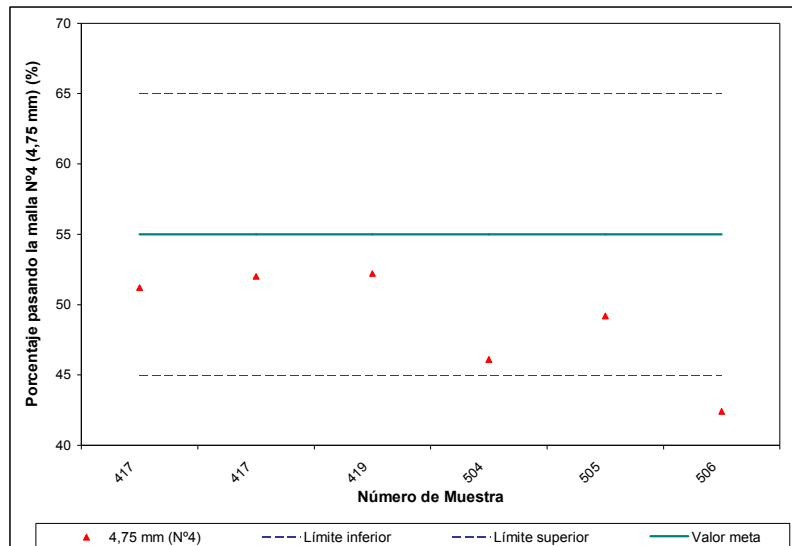


Figura 6. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 4 (4,75 mm)

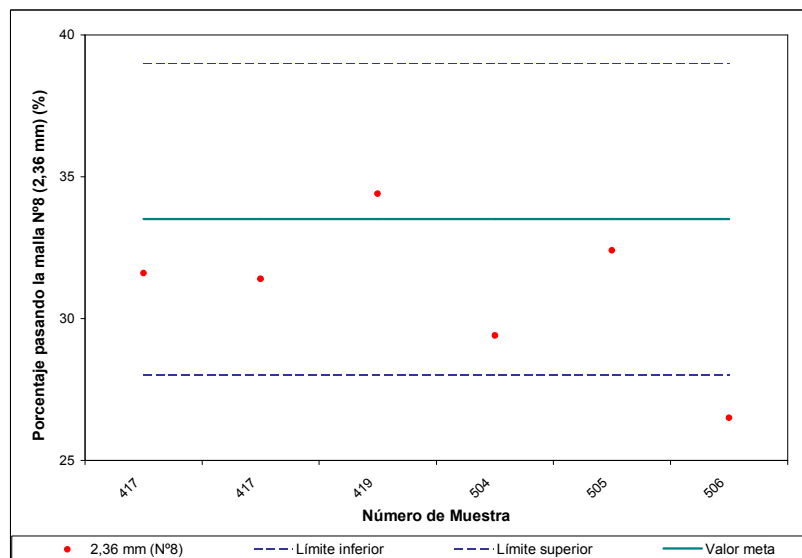


Figura 7. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 8 (2,36 mm)

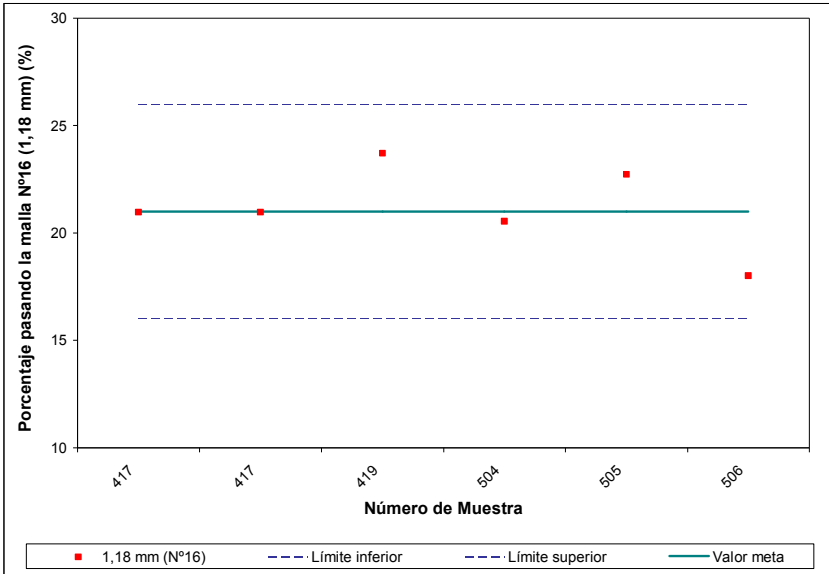


Figura 8. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 16 (1,18 mm)

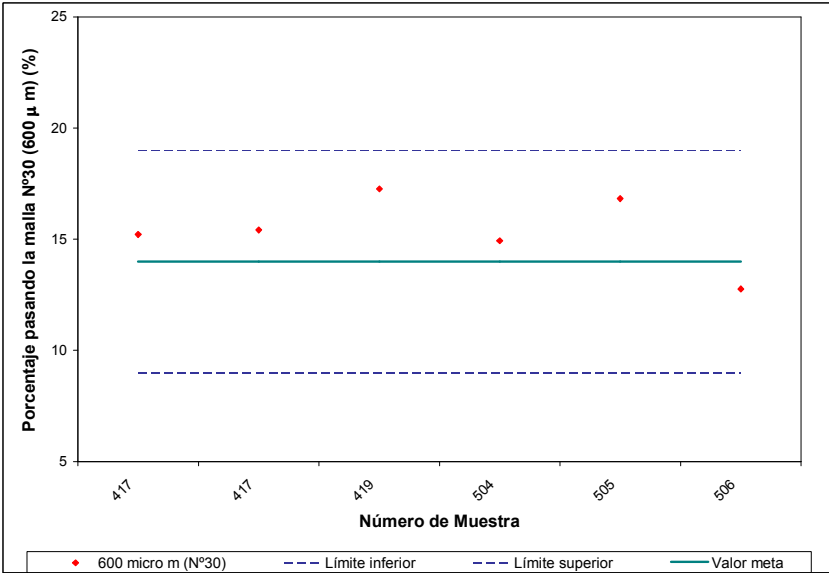


Figura 9. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para la malla N° 30 (600 μm)

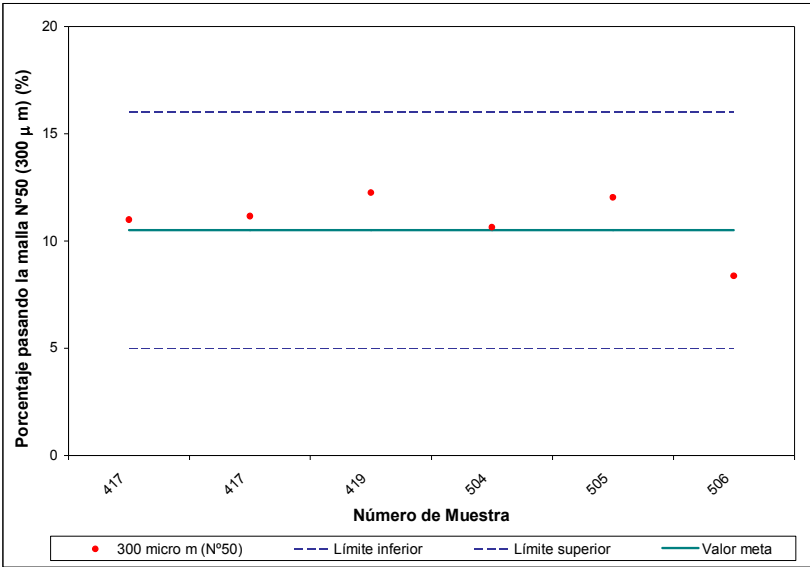


Figura 10. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para las mallas: a. N° 50 (300 µm) b. N° 200 (75 µm)

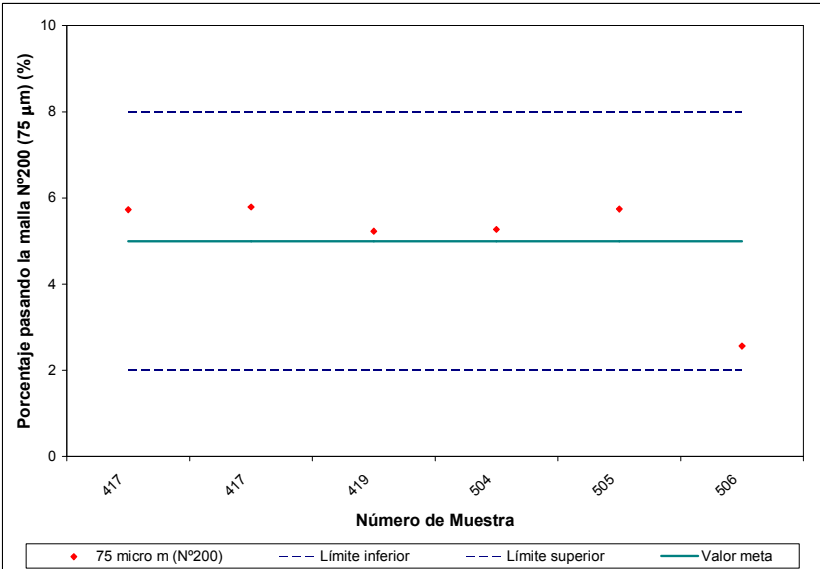


Figura 11. Gráfico de los resultados de ensayos de granulometría para las mallas: a. N° 50 (300 µm) b. N° 200 (75 µm)

Anexo 2. Informe de Ensayos I-0275-09