



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe: LM-PI-AT-33 -19

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA PRODUCIDA DURANTE EL 2018 EN LAS PLANTAS ASFÁLTICAS DE LOS PROYECTOS DE CONSERVACION VIAL. *Licitación pública No. 2014LN-000018-0CV00. Varias Zonas*



Informe en versión final
Preparado por:

**Unidad de Auditoría Técnica
LanammeUCR**



Documento generado con base en el Art. 6, inciso b) de la Ley 8114 y lo señalado en el Capít.7, Art. 68 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

**San José, Costa Rica
Mayo, 2019**

1. Informe Informe en versión final de Auditoría Técnica LM-PI-AT-33-19	2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA PRODUCIDA DURANTE EL 2018 EN LAS PLANTAS ASFÁLTICAS DE LOS PROYECTOS DE CONSERVACION VIAL. Licitación pública No. 2014LN-000018-0CV00. Varias Zonas	4. Fecha del Informe Mayo 2019	
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
<p style="text-align: center;">--**--</p> 9. Resumen <p><u>Sobre los materiales que conforman la mezcla asfáltica:</u> La granulometría, tanto de la mezcla convencional, así como la de la mezcla modificada con polímero, en su mayoría, cumple con lo indicado en las especificaciones contractuales. Respecto al contenido de asfalto las mezclas convencional y modificada de 12mm cumplen las especificaciones, sin embargo, se determinan algunos incumplimientos para la mezcla asfáltica de 19mm, para ambos tipos de mezcla (convencional y modificada).</p> <p><u>Sobre la calidad la mezcla asfáltica producida:</u> Para las mezclas asfálticas producidas con ambos tipos de asfalto y para los dos diferentes tipos de agregados se determina algunos incumplimientos en los parámetros volumétricos, tales como: contenido de vacíos, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA) y la relación polvo/asfalto.</p> <p><u>Sobre el desempeño de la mezcla asfáltica:</u> Ambos tipos de mezcla asfáltica (convencional y modificada) producidas con ambos tipos de agregados muestran tener una excelente resistencia al ahuellamiento (deformación permanente) de la mezcla, determinada con el APA, Rueda de Hamburgo y Flow Number. Sin embargo, la mezcla convencional de ambos tamaños, muestra ser susceptible al daño por fatiga (agrietamiento) determinado por el ensayo a fatiga. Por su parte, un 17% de la mezcla modificada demuestra tener una adecuada resistencia al daño por fatiga, para ambos de tamaño de agregados.</p> <p><u>Sobre el diseño de la mezcla asfáltica:</u> se establece que los parámetros volumétricos de vacíos llenos de asfalto (VFA) y porcentaje de vacíos en la mezcla restringen el rango de contenido de asfalto de los diseños de ambos tipos de mezcla asfáltica (convencional y modificada) y para ambos tamaños de agregado, determinando un riesgo potencial de incumplimiento durante el proceso de producción, tal como se comprobó con los resultados de ensayo de las mezclas analizadas.</p>		
10. Palabras clave Planta asfáltica, Mezcla asfáltica, Diseño de mezcla, Control de Calidad, desempeño, auditoría	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 68



**INFORME EN VERSIÓN FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA DURANTE EL
2018 EN LAS PLANTAS ASFÁLTICAS DE LOS PROYECTOS DE CONSERVACION VIAL.
Licitación pública No. 2014LN-000018-0CV00. Varias Zonas.**

Departamento encargado del proyecto: Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, CONAVI

Empresa contratista: detalle en Tabla 3

Montos originales de los contratos: ₡206.897.043.844,12 (colones)

Plazo original de ejecución: 1095 días naturales

Coordinador de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA:

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD

Coordinadora de Auditoría Técnica:

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

Auditores:

Ing. Víctor Cervantes Calvo (Auditor Líder)

Ing. Francisco Fonseca Chaves (Auditor adjunto)

Asesor Legal:

Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

El alcance de este informe de auditoría técnica se centró en la evaluación de las mezclas asfálticas producidas para las actividades de Conservación Vial durante el 2018. Se evaluaron mezclas asfálticas fabricadas con cemento asfáltico convencional con tamaños de agregados de 12 mm y de 19 mm. También se analizaron mezclas asfálticas producidas con cemento asfáltico modificado con polímeros, con tamaño de agregados de 12mm y 19mm.



TABLA DE CONTENIDOS

1.	FUNDAMENTACIÓN	7
2.	OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	7
3.	OBJETIVOS DEL INFORME.....	7
4.	OBJETIVO GENERAL	7
5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
6.	ALCANCE DEL INFORME	8
7.	METODOLOGÍA	8
8.	DOCUMENTOS DE PREVALENCIA	10
9.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	11
10.	AUDIENCIA AL LOS AUDITADOS	12
11.	RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	13
12.	CONCLUSIONES	63
13.	RECOMENDACIONES	66
14.	REFERENCIAS	67

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MUESTREOS REALIZADOS A LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.	8
TABLA 2. DETALLE DE LOS MUESTREOS Y LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LOS CUALES SE TOMARON LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.	9
TABLA 3. ZONAS ADJUDICADAS PARA CADA CONTRATISTA Y PLANTA SUPLIDORA.	11
TABLA 4. PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO PARA CADA UNA DE LAS MALLAS.	15
TABLA 5. PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO PARA CADA UNA DE LAS MALLAS.	19
TABLA 6. PARÁMETROS GENERALES DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	22
TABLA 7. ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL	26
TABLA 8. ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL	31
TABLA 9. REQUISITOS DE DEFORMACIÓN PLÁSTICA PARA MEZCLA ASFÁLTICA POR MÉTODO MARSHALL.	39
TABLA 10. REQUISITOS DE REPETICIONES PARA FALLA POR FATIGA MEZCLA ASFÁLTICA DE MÉTODO MARSHALL.	47
TABLA 11. REQUISITOS DE CICLOS PARA FALLA PARA EL CRITERIO DE FLOW NUMBER.	53
TABLA 12. ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL	55
TABLA 13. ANÁLISIS DEL RANGO EFECTIVO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA MEZCLA DE 12,5 MM DE LOS INFORMES DE CADA UNA DE LAS PLANTAS DE ESTUDIO	57



TABLA 14. ANÁLISIS DEL RANGO EFECTIVO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA MEZCLA DE 19 MM DE LOS INFORMES DE CADA UNA DE LAS PLANTAS DE ESTUDIO 61

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LAS PLANTAS MUESTREADAS. FUENTE: LANAMMEUCR 9

FIGURA 2. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS DE TODAS LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: AUDITORÍA TÉCNICA 15

FIGURA 3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS. FUENTE: AUDITORÍA TÉCNICA..... 16

FIGURA 4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS DE TMN DE 12,5 MM PARA MEZCLA CONVENCIONAL Y MEZCLA MODIFICADA CON POLÍMEROS. FUENTE: AUDITORÍA TÉCNICA..... 17

FIGURA 5. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA VARIACIÓN DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE TODAS LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 12,5MM ANALIZADAS. ELABORADO POR: AUDITORÍA TÉCNICA 18

FIGURA 6. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS DE TODAS LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: AUDITORÍA TÉCNICA 19

FIGURA 7. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS DE TMN DE 19 MM PARA MEZCLA CONVENCIONAL Y MEZCLA MODIFICADA CON POLÍMEROS. FUENTE: AUDITORÍA TÉCNICA 20

FIGURA 8. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA VARIACIÓN DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE TODAS LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 19 MM ANALIZADAS. ELABORADO POR: AUDITORÍA TÉCNICA 21

FIGURA 9. RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA TODAS LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA ANALIZADAS DE TMN DE 12,5MM. ELABORADO POR: AUDITORÍA TÉCNICA 23

FIGURA 10. RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA TODAS LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA ANALIZADAS DE 19 MM. ELABORADO POR: AUDITORÍA TÉCNICA..... 25

FIGURA 11. CONTENIDO DE VACÍOS Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 12,5MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS. ELABORADO POR: AUDITORÍA TÉCNICA..... 27

FIGURA 12. PARÁMETRO VMA Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 12,5MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS..... 28

FIGURA 13. PARÁMETRO VFA Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 12,5MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS..... 29

FIGURA 14. RELACIÓN POLVO/ASFALTO Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 12,5MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS..... 30

FIGURA 15. CONTENIDO DE VACÍOS Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 19MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS. ELABORADO POR: AUDITORÍA TÉCNICA..... 32

FIGURA 16. PARÁMETRO VMA Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 19MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS..... 33



FIGURA 17. PARÁMETRO VFA Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 19MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS..... 34

FIGURA 18. RELACIÓN POLVO/ASFALTO Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 19MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS..... 35

FIGURA 19. REPRESENTACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MALLA 200 (POLVO) Y CONTENIDO DE ASFALTO EFECTIVO COMPARADOS CON LOS LÍMITES DE ESPECIFICACIÓN PARA TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS. 36

FIGURA 20. RESULTADOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE PARA MEZCLA DE TAMAÑO DE 12 MM. 40

FIGURA 21. RESULTADOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE PARA MEZCLA DE TAMAÑO DE 19 MM. 41

FIGURA 22. RESULTADOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE PARA AMBOS TIPOS DE MEZCLA. 42

FIGURA 23. RESULTADOS DE RUEDA HAMBURGO PARA MEZCLA DE TAMAÑO DE 12 MM. 43

FIGURA 24. RESULTADOS DE RUEDA DE HAMBURGO PARA MEZCLA DE TAMAÑO DE 19 MM. 44

FIGURA 25. RESULTADOS DE RUEDA HAMBURGO PARA AMBOS TIPOS DE MEZCLA..... 45

FIGURA 27. ÁREA DE LA FIGURA GEOMÉTRICA FORMADA POR LA ESPECIFICACIÓN DE FATIGA.48

FIGURA 28. RESULTADOS DEL ENSAYO DE FATIGA PARA LA MEZCLA DE 12,5 MM. 49

FIGURA 29(CONT). RESULTADOS DEL ENSAYO DE FATIGA PARA LA MEZCLA DE 12,5 MM. 50

FIGURA 30. RESULTADOS DEL ENSAYO DE FATIGA PARA LA MEZCLA DE 19 MM. 51

FIGURA 32. MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DE TAMAÑO DE 12 MM. 53

FIGURA 33. MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DE TAMAÑO DE 19 MM. 54

FIGURA 34. ANÁLISIS GRÁFICO DEL RANGO EFECTIVO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA MEZCLA DE 12,5 MM..... 57

FIGURA 35. VARIACIÓN DEL PARÁMETRO VFA CON RELACIÓN AL AUMENTO EN EL CONTENIDO DE ASFALTO. 58

FIGURA 36. ANÁLISIS GRÁFICO DEL RANGO EFECTIVO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA MEZCLA DE 12 MM. 59

FIGURA 37. ANÁLISIS GRÁFICO DEL RANGO EFECTIVO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA MEZCLA DE 19 MM. 60

FIGURA 38. ANÁLISIS GRÁFICO DEL RANGO EFECTIVO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA MEZCLA DE 19 MM. 62



INFORME EN VERSIÓN FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA DURANTE EL 2018 EN LAS PLANTAS ASFÁLTICAS DE LOS PROYECTOS DE CONSERVACION VIAL.

Licitación pública No. 2014LN-000018-0CV00. Varias Zonas.

1. FUNDAMENTACIÓN

La Auditoría Técnica externa a proyectos en ejecución para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley N°8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N°8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Asimismo, el proceso de Auditoría Técnica se fundamenta en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril del 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

“...la fiscalización que realiza la Universidad a través del Laboratorio es una fiscalización externa, que trasciende los contratos de mérito, y por ende, obras específicas, para abarcar la totalidad de la red nacional pavimentada (por ende, proyectos ya finiquitados) y que incluso podría considerarse “superior”, en el sentido en que debe fiscalizar también los laboratorios que realizan análisis de calidad, auditar proyectos en ejecución, entre otros aspectos, evaluar la capacidad estructural y determinar los problemas de vulnerabilidad y riesgos de esa red. Lo cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.” (El subrayado no es del texto original)

2. OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS

El propósito de las auditorías técnicas que realiza el LanammeUCR en cumplimiento de las tareas asignadas en la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria”, Ley N° 8114, es el de emitir informes que permitan a las autoridades del país, indicadas en dicha ley, conocer la situación técnica, administrativa y financiera de los proyectos viales durante todas o cada una de las etapas de ejecución: planificación, diseño y especificaciones; cartel y proceso licitatorio; ejecución y finiquito. Asimismo, la finalidad de estas auditorías consiste en que la Administración, de manera oportuna tome decisiones correctivas y ejerza una adecuada comprobación, monitoreo y control de los contratos de obra, mediante un análisis comprensivo desde la fase de planificación hasta el finiquito del contrato.

3. OBJETIVOS DEL INFORME

4. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este informe es valorar de forma general la calidad de la mezcla asfáltica producida por los diversos contratistas, para ser utilizada en los procesos de conservación vial aplicados por el CONAVI. Dicha valoración se realiza iniciando con la evaluación del diseño de mezcla utilizado por la planta para la producción de mezcla asfáltica. Además, se evalúan los parámetros de calidad y aceptación de conformidad con lo que se establece en las especificaciones contractuales y las prácticas ordinarias para diseño de mezcla. Asimismo, se realizan ensayos de desempeño (fatiga,



deformación y flow number) de la mezcla asfáltica, sin embargo por la avería de algunos equipos de ensayo solo se reportan los resultados de algunas muestras.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la calidad del producto final obtenido en el proceso de producción de mezcla asfáltica mediante ensayos Marshall y ensayos de desempeño.
- Análisis y valoración del diseño de mezcla utilizado por la planta para la producción de mezcla asfáltica.

6. ALCANCE DEL INFORME

El estudio que se realiza está comprendido entre enero a octubre de 2018, considerando todas las plantas de producción activas en este periodo, cuya producción estuviera destinada a proyectos de conservación vial.

Los resultados analizados son los obtenidos por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), así como los respectivos diseños de mezcla vigentes, que son elaborados por el laboratorio de control de calidad del contratista para la producción de mezcla asfáltica en las plantas de producción.

7. METODOLOGÍA

La fiscalización que realiza la Auditoría Técnica del LanammeUCR es un proceso independiente, basado en normas y procedimientos establecidos, aplicando criterios objetivos en procura de lograr el cumplimiento del alcance y los objetivos definidos para cada uno de los estudios desarrollados. Este proceso no limita a que algunas actividades puedan realizarse en conjunto con el auditado.

Durante el proceso de auditoría realizado por la Auditoría Técnica del LanammeUCR se visitaron las instalaciones de las plantas asfálticas indicadas en la Tabla 1 y se tomaron muestras de la mezcla asfáltica por un periodo definido para llevar a cabo las actividades de evaluación de la planta.

Tabla 1. Muestreos realizados a las plantas de producción de mezcla asfáltica en caliente.

Planta	Fecha muestreo (s)
Hernán Solís, Abangares (HSA)	31 octubre de 2018
Hernán Solís, Guápiles (HSG)	17 agosto de 2018
Meco, Aguas Zarcas (MAZ)	-
Meco, Bagaces (MB)	05 junio de 2018
Meco, Guápiles (MG)	25 enero y 26 julio de 2018
Meco, Río Claro (MRC)	29 agosto de 2018
Meco, Uruca (MU)	17 de julio de 2018
Constructora Herrera (CH)	-
Quebradores del Sur (QS)	29 agosto y 26 noviembre de 2018

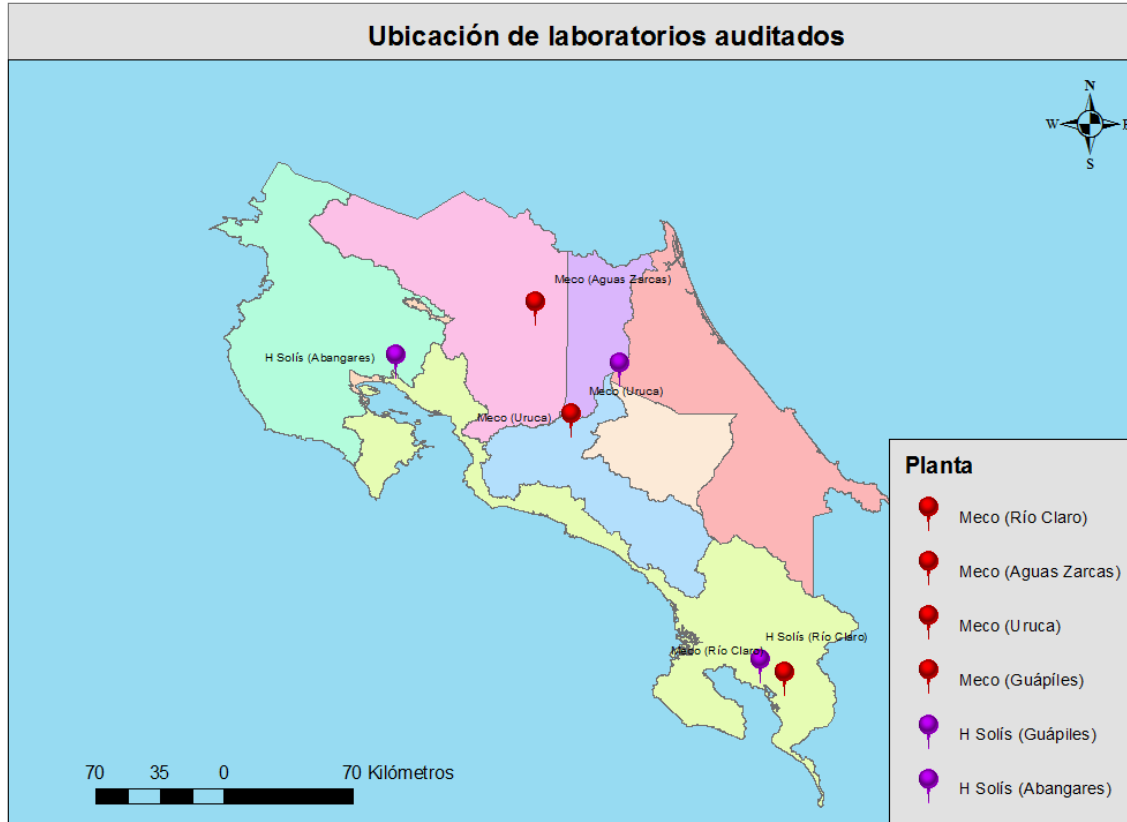


Figura 1. Ubicación de las plantas muestreadas. Fuente: LanammeUCR

La Unidad de Auditoría Técnica, mediante el Laboratorio de Infraestructura Vial del LanammeUCR gestionó la toma de muestras de la mezcla asfáltica producida durante el año 2018 para cada uno de los diferentes centros de producción. Todas las muestras fueron tomadas de manera aleatoria, las cuales fueron posteriormente ensayadas por el Laboratorio de Mezclas Bituminosas del LanammeUCR, en la Tabla 2 se presenta un detalle de las muestras de mezcla asfáltica en caliente tomadas.

Tabla 2. Detalle de los muestreos y los ensayos realizados en los cuales se tomaron las muestras de mezcla asfáltica en caliente.

Planta	Muestra	Fecha	Tipo MAC		Contenido Asfalto	Granulometría	Parámetros Marshall	Fatiga	Deformación permanente		Flow number
			12mm	19mm					APA	RH	
Meco Guápiles	M-0119-18	25/01/2018	✓	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
	M-0451-18	05/03/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
	M-0452-18	05/03/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
	M-0453-18	06/03/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
	M-0454-18	06/03/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
	M-0536-18	14/03/2018	na	✓	✓	✓	✓	nr	nr	nr	nr
	M-0568-18	23/02/2018	✓	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr



	M-0633-18	05/04/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
	M-1311-18	21/06/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	M-1522-18	26/07/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
	M-2130-18	17/10/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Meco Uruca	M-0248-18	10/02/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
	M-0361-18	22/02/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
	M-0403-18	27/02/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
	M-1455-18	17/07/2018	✓	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
Meco Bagaces	M-1147-18	05/06/2018	✓	na	✓	✓	✓	nr	nr	nr	nr
Meco Río Claro	M-1841-18	29/08/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr	✓
HS Guápiles	M-1032-18	19/05/2018	✓	na	✓	✓	✓	✓	nr	nr	nr
	M-1084-18	27/05/2018	✓	na	✓	✓	✓*	✓	nr	nr	nr
	M-1343-18	23/06/2018	✓	na	✓	✓	✓*	✓	✓	✓	✓
	M-1486-18	30/06/2018	✓	na	nr	nr	nr	✓	nr	✓	nr
	M-1710-18	17/08/2018	✓	na	✓	✓	✓	✓	✓	nr	✓
HS Abangares	M-2224-18	31/10/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr	✓
Conansa	M-1506-18	24/07/2018	✓	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr
Quebradores Sur	M-1835-18	29/08/2018	na	✓	✓	✓	✓	✓	✓	nr	✓
C. Herrera	M-2212-18	31/10/2018	✓	na	✓	✓	✓	✓	✓	nr	✓

* Se tienen resultados de volumetría por ser mezcla asfáltica Superpave.

nr. no se realizó el ensayo

na. no aplica

Los ensayos realizados consistieron en determinar el valor del contenido de asfalto (ASTM D-6307 /ASTM-D-95), la composición granulométrica (ASTM D 5444) y determinar cada uno de los parámetros Marshall indicados en la especificación AM-2001. Además se realizaron los ensayos de Deformación permanente (APA) (AASHTO TP63), Rueda de Hamburgo (AASHTO T324), Vida de fatiga a flexotracción con carga dinámica (AASHTO T321) y tiempo de Flujo (AASHTO TP79).

8. DOCUMENTOS DE PREVALENCIA

- Los trabajos del proyecto deberán ser ejecutados de conformidad con los términos del pliego de condiciones y acuerdos con la última versión descrita en el Sección VI Requisitos de las Obras:
- Ley de Contratación Administrativa (Ley No. 7494 del 02 de mayo de 1995) y sus reformas y su respectivo Reglamento (Decreto Ejecutivo número 33411-H del 27 de setiembre del 2006) y sus reformas.
- El cartel de licitación, incluyendo las Especificaciones Especiales, sus aclaraciones y sus enmiendas.
- La oferta adjudicataria.
- El contrato refrendado por la Gerencia de Gestión de Asuntos Jurídicos del CONAVI.
- "Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes (CR-2010)".



- El código de construcción.
- El documento titulado: “Tomo de disposiciones para la construcción y conservación vial”, contiene las disposiciones generales emitidas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).
- Normas y diseños para la construcción de carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Plan Vial.
- Todas aquellas normas ASTM que cuenten con homologación vigente del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) regirán sobre su homologada. El contratista tendrá la obligación de verificar y aplicar toda la normativa INTECO aplicable.

9. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Las plantas de producción de mezcla asfáltica ubicadas en el territorio nacional y que producen mezcla asfáltica para actividades de conservación vial en su mayoría mantienen una disposición del proceso de producción de forma permanente (Plantas Continuas) para un total de 7 centros de producción bajo esta modalidad de producción. Sin embargo, también se tienen 2 plantas con procesos discontinuos (Plantas de Baches).

En la Tabla 3, se muestra el detalle de las contrataciones y las empresas adjudicatarias, así como la asociación general de cada una de las plantas con las zonas a las cuales suplen mezcla asfáltica.

Tabla 3. Zonas adjudicadas para cada contratista y planta suplidora.

Línea	Zona	Contratista	Planta Suplidora	Tipo	Monto del contrato
Línea 1	1-1 San José	MECO	Meco Uruca	Continua	₡ 17.421.740.931,25
	1-2 Puriscal				
	1-9 Heredia				
Línea 2	1-4 Alajuela Sur	H. Solís	HS Guápiles	Bache	₡18.046.845.437,66
	1-5 Alajuela Norte				
	1-6 San Ramón				
Línea 3 ^(S)	1-3 Los Santos	H. Solís	HS Guápiles	Bache	₡42.451.794.700,00 [₡17.925.897.309.69]
	1-7 Cartago				
	1-8 Turrialba				
Línea 4 ^(S)	2-1 Liberia	H. Solís	HS Abangares	Bache	₡21.298.404.484,25 [₡8.808.764.040.12]
Línea 5	2-3 Santa Cruz	MECO	Meco Bagaces	Continua	₡17.406.722.878,73
	2-4 Nicoya				
Línea 6	2-2 Cañas- Upala	H. Solís	HS Abangares	Bache	₡16.179.228.040,23



	3-1 Puntarenas				
	3-2 Quepos				
Línea 7	4-1 Pérez Zeledón	Q. Sur	Q. Sur	Continua	₡20,340.597.830.16 [₡8,020.962.779.55]
	4-2 Buenos Aires				
Línea 8	4-3 Río Claro	MECO	Meco Río Claro	Continua	₡22,012.230.200.90 [₡10,226.567.455.93]
Línea 9	5-1 Guápiles	MECO	Meco Guápiles	Continua	₡11,995.565.725.90
	5-2 Limón				
Línea 10	6-1 Ciudad Quesada	MECO	Meco Aguas Zarcas	Continua	₡19,743.913.615.04 [₡8,820.707.675.24]
	6-2 Los Chiles				

Fuente: [§]Líneas con órdenes de modificación (OM) del contrato, pendientes de refrendo por parte de la CGR.

10. AUDIENCIA AL LOS AUDITADOS PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSION PRELIMINAR LM-PI-AT-033B-19

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-055-19 del 08 de abril de 2019, se envía el presente informe en versión preliminar LM-PI-AT-033B-19 a la parte auditada para que sea analizado y de requerirse, se proceda a esclarecer aspectos que no hayan sido considerados durante el proceso de ejecución de la auditoría, por lo que inicialmente se otorga un plazo de 15 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe para el envío de comentarios al informe preliminar. Dicho plazo se extendía hasta el 09 de mayo de 2019.

Asimismo, como parte del proceso de Auditoría, se realiza una reunión el día 26 de abril de 2019 con el auditado con el fin de comentar aspectos relacionados con el informe. Esta reunión contó con la asistencia de los siguientes participantes:

Institución	Nombre
Conavi (Administración)	Manrique Aguilar Oreamuno (Auditoría Interna)
	Hugo Zuñiga Fallas (Conservación Vial)
LanammeUCR (Auditoría Técnica)	Francisco Fonseca Chaves (Auditor Técnico)
	Víctor Hugo Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
	Wendy Sequeira Rojas (Coordinadora Auditoría Técnica)

Al 14 de mayo de 2019 no se ha recibido respuesta por parte de la Administración por lo que, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, se procede a emitir el informe LM-PI-AT-033-19 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley.



11. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Todos los hallazgos y observaciones declarados por el equipo de auditoría técnica en este informe se fundamentan en evidencias representativas, veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría técnica, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de las mediciones realizadas y la recolección y análisis de evidencias.

Se entiende como hallazgo de auditoría técnica, un hecho que hace referencia a una normativa, informes anteriores de auditoría técnica, principios, disposiciones y buenas prácticas de ingeniería o bien, hace alusión a otros documentos técnicos y/o legales de orden contractual, ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Por otra parte, una observación de auditoría técnica se fundamenta en normativas o especificaciones que no sean necesariamente de carácter contractual, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería, principios generales, medidas basadas en experiencia internacional o nacional. Además, tienen la misma relevancia técnica que un hallazgo.

Por lo tanto, las recomendaciones que se derivan del análisis de los hallazgos y observaciones deben ser atendidas planteando acciones correctivas y preventivas, que prevengan el riesgo potencial de incumplimiento.

11.1. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA

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.

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 a la capa de ruedo 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.

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 13 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



PRIMERA PARTE

11.1.1. RESULTADOS DE ENSAYO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

SOBRE LA GRANULOMETRÍA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA

HALLAZGO 1. LA MAYORÍA DE LOS RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS DE AMBOS TIPOS DE TAMAÑO (19 MM Y 12,5 MM), PARA LA MEZCLA CONVENCIONAL Y LA MODIFICADA CON POLÍMERO CUMPLEN LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS EN EL CARTEL DE LICITACIÓN.

A. Mezcla asfáltica de tamaño de 12,5 mm

Para las muestras de mezcla asfáltica provenientes de las diferentes plantas de producción se evalúan los requisitos establecidos en el apartado 3.2.1 "Graduación de la combinación de agregados" de la sección 4 "Especificación Especial de Mezcla Asfáltica en Caliente elaborada por el diseño Marshall" en donde se establecen los rangos granulométricos para la combinación de 12,5 mm.

En la Figura 2 se muestra la representación gráfica de los resultados obtenidos para las muestras de ensayo analizadas de todas las plantas asfálticas durante el periodo de muestreo comprendido entre enero a octubre de 2018. Como se observa, la mayoría de los resultados se encuentran dentro de los límites de especificación establecidos, lo cual se evidencia con los valores de porcentaje de cumplimiento para cada uno de los tamaños granulométricos que se muestran en la Tabla 4, en donde los resultados más variables los muestran las mallas de 1/2", N°4 y N°8.

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 14 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



Tabla 4. Porcentaje de cumplimiento para cada una de las mallas.

Parámetro	Malla (% pasando)							
	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°200
Promedio	93,27	78,83	49,23	31,63	21,36	15,50	11,44	5,63
Desviación estándar	2,53	5,07	3,41	2,64	2,14	1,51	0,78	0,75
% de incumplimiento	22,4%	14,0%	22,1%	19,8%	7,7%	4,6%	0,0%	1,4%

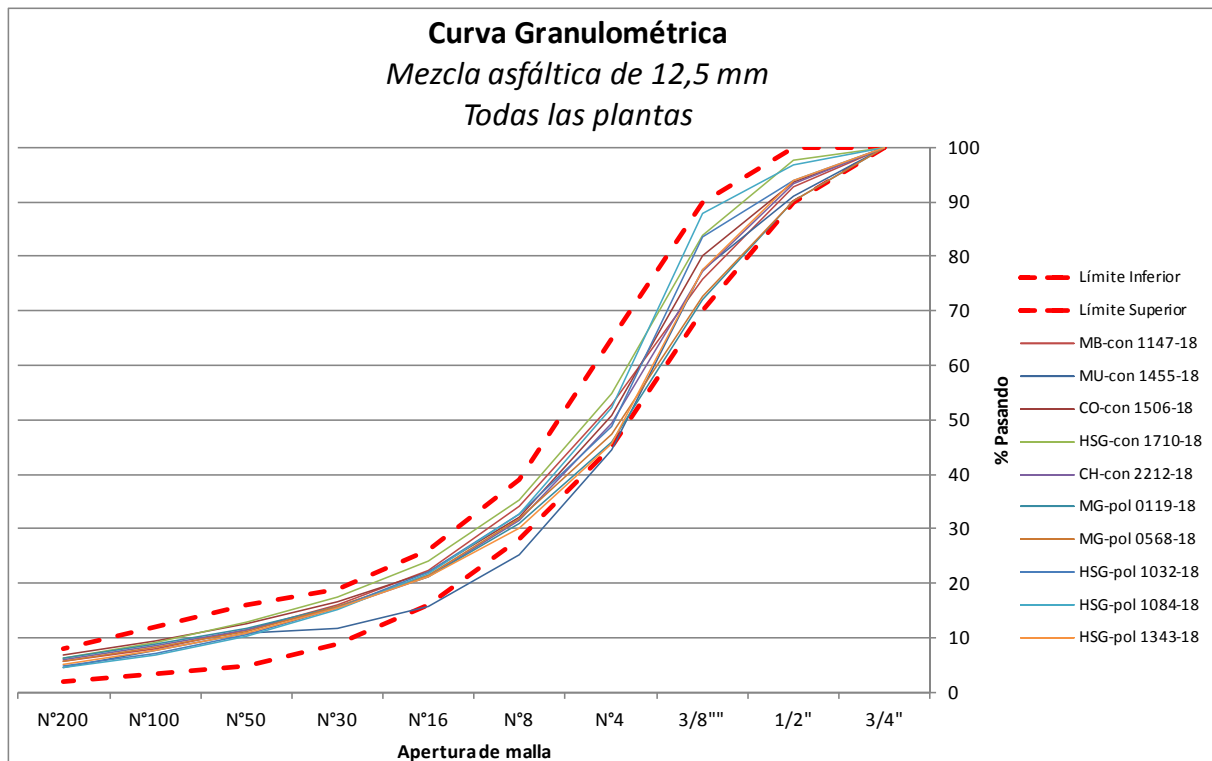


Figura 2. Resultados granulométricos para las mezclas asfálticas analizadas de todas las plantas de producción. Fuente: Auditoría Técnica

Con el fin de determinar la tendencia general existente de la granulometría y las variaciones presentes en cada tamaño de malla que conforma la curva granulométrica en las muestras analizadas durante el año 2018 se emplea un método gráfico en donde la granulometría objetivo se representa como el eje horizontal (eje x) y además se trazan los límites de especificación. Luego se realiza la representación gráfica de cada una de las curvas granulométricas diarias, determinando la magnitud existente entre el valor de % pasando reportado en el ensayo y el valor objetivo de cada tamaño (para cada uno de los tamices en

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 15 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



particular) considerando todos los tamaños granulares reportados, tal como se ejemplifica en la Figura 3.

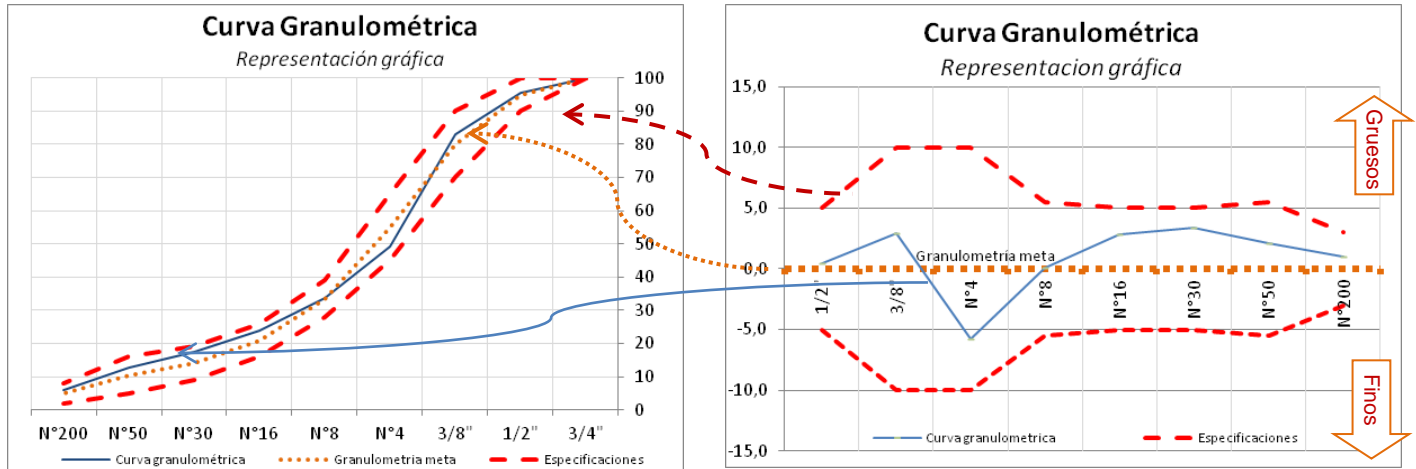


Figura 3. Representación gráfica de las curvas granulométricas para las mezclas asfálticas analizadas. Fuente: Auditoría Técnica

En las gráficas presentadas en la Figura 4 se representan las curvas granulométricas para las mezclas asfálticas convencionales y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros analizadas. Del análisis de las gráficas se puede determinar que la fracción gruesa y la intermedia de ambos tipos de mezclas tienen una composición variada ya que los resultados se ubican proporcionalmente entre ambos límites de la especificación, particularmente en la mezcla convencional.

Por otro lado, es posible evidenciar que, para todos los centros de producción de mezcla asfáltica (MB, MU, MG, HSG, CH y CO), los agregados de tamaño fino se hallan en el lado grueso de la especificación, mostrando un comportamiento más acentuado en la mezcla modificada.

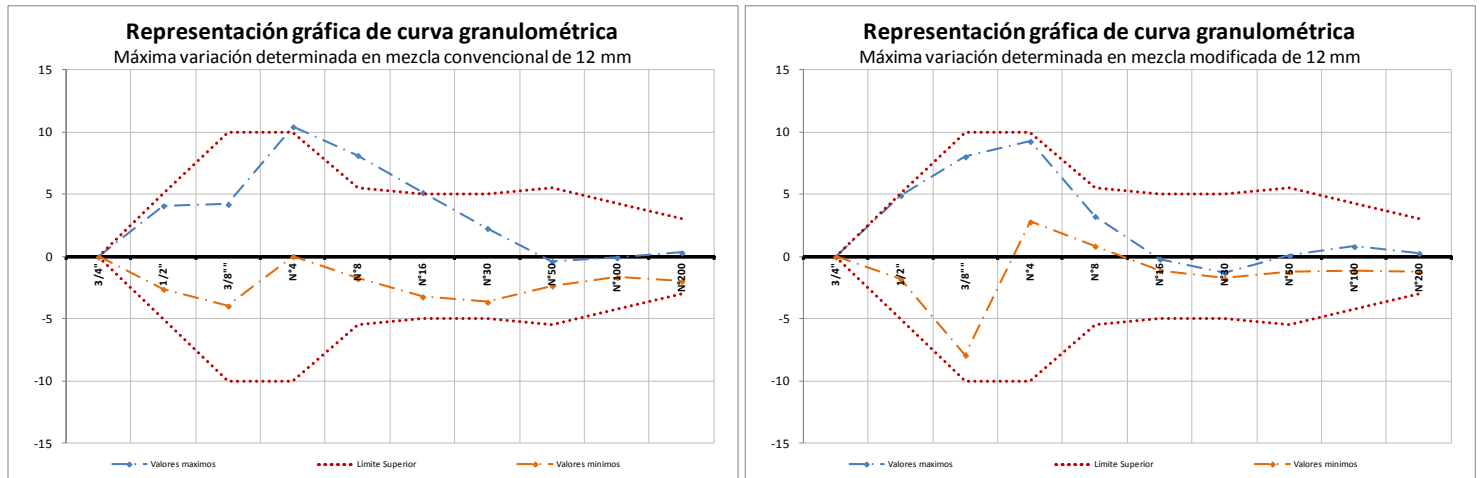


Figura 4. Representación gráfica de las curvas granulométricas para las mezclas asfálticas analizadas de TMN de 12,5 mm para mezcla convencional y mezcla modificada con polímeros. Fuente: Auditoría Técnica

En la Figura 5 se representan los valores máximos y mínimos de las curvas granulométricas de ambos tipos de mezclas asfálticas producidas durante el periodo de análisis del año 2018:

- Los materiales de la fracción gruesa, el material de la malla de $\frac{1}{2}$ pulgada y $\frac{3}{8}$ de pulgada se ubicaron durante todo el periodo de análisis entre la porción fina y la gruesa, con mayor inclinación hacia esta última.
- En el material intermedio (mallas N°4 a N°8) se denota que:
 - la malla N°4 se ubica durante todo el año 2018 en la porción gruesa de la especificación.
 - mientras que la malla N°8 oscila entre la porción fina y la gruesa, tendiendo a mostrar unos leves incumplimientos con relación al límite inferior.
- En cuanto a la parte de la fracción fina de la curva granulométrica es evidente que a partir de la malla N°16 hasta la malla N°200 existe una marcada tendencia a ubicarse en el ámbito fino de la especificación entre el valor meta y el límite superior. Se observa que la mayor variación, con el valor meta, se obtiene en la malla 200 con una magnitud de 1,96%.

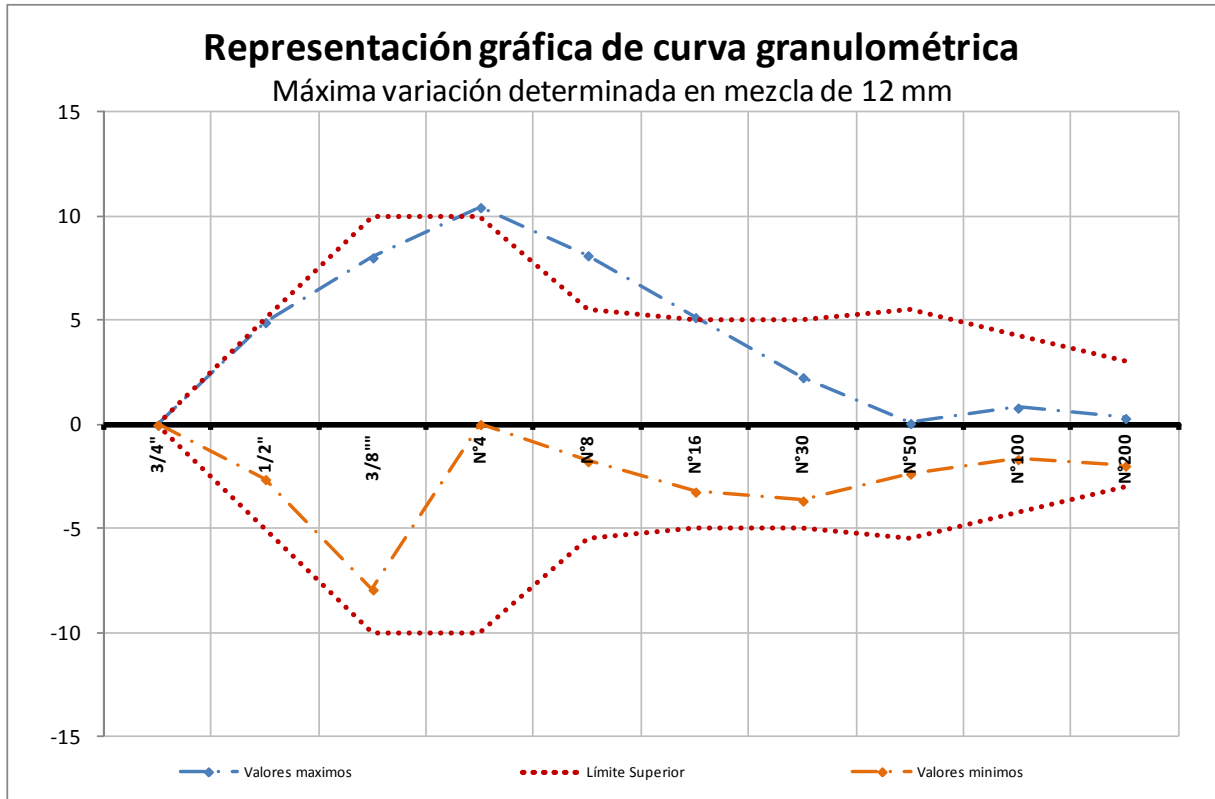


Figura 5. Representación gráfica de la variación de las curvas granulométricas de todas las mezclas asfálticas de TMN de 12,5mm analizadas. Elaborado por: Auditoría Técnica

B. Mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm

Con relación a las muestras de mezcla asfáltica con tamaño granulométrico de 19mm los requisitos se establecen en el apartado 3.2.1 "Graduación de la combinación de agregados" de la sección 4 "Especificación Especial de Mezcla Asfáltica en Caliente elaborada por el diseño Marshall". Con relación a los rangos granulométricos establecidos, se evalúan las granulometrías para la combinación de 19 mm provenientes de las diferentes plantas de producción, los cuales se presentan en la Figura 6.

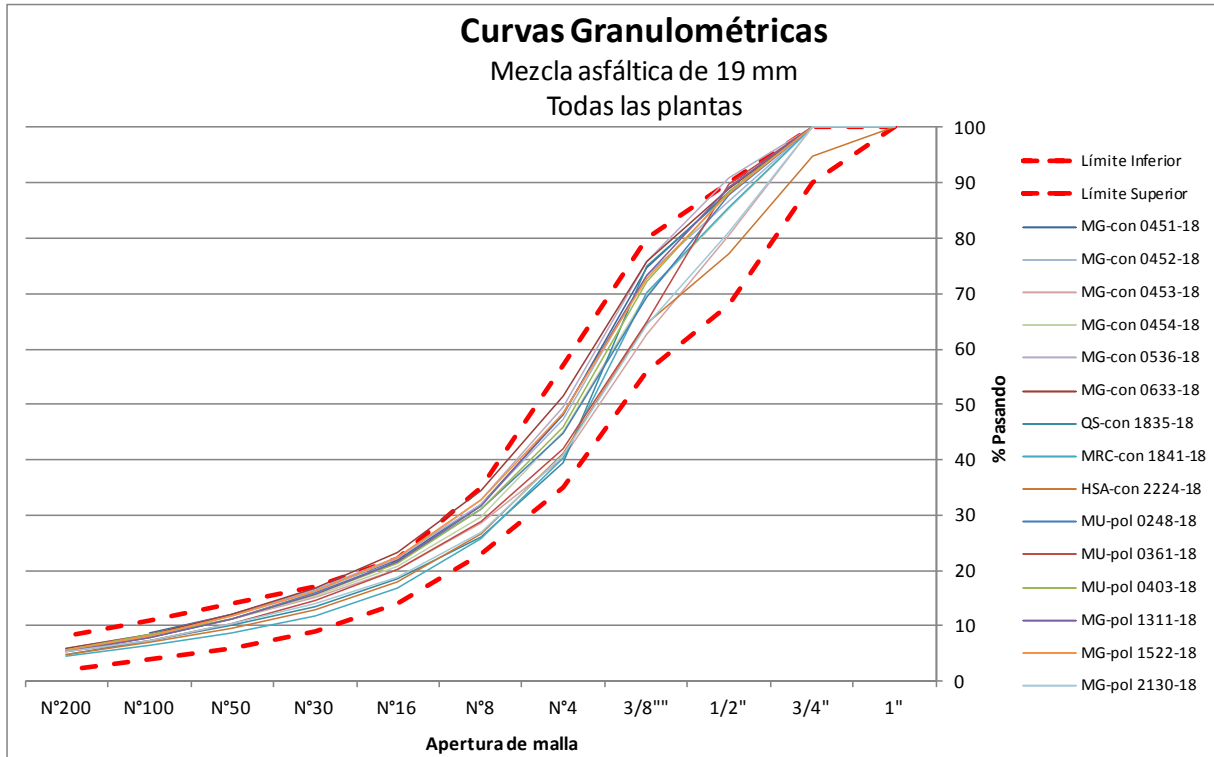


Figura 6. Resultados granulométricos para las mezclas asfálticas analizadas de todas las plantas de producción. Fuente: Auditoría Técnica

Posteriormente, se determinan los valores de porcentaje de cumplimiento para cada uno de los tamaños granulométricos, evidenciándose que la mayoría de los resultados se encuentran dentro de los límites de especificación establecidos, tal como se muestra en la **Tabla 5**. Solamente se determina una variación importante en la malla de $3/4"$, $1/2"$ y en la malla N°16, en donde se establecen valores de incumplimiento de 80%, 37,2% y 47,6%, donde se establece como límite máximo de aceptación un valor de 41,674% para 15 muestras de mezcla asfáltica analizadas.

Tabla 5. Porcentaje de cumplimiento para cada una de las mallas.

Parámetro	Malla (% pasando)								
	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°200
Promedio	99,66	86,43	70,59	44,91	30,03	20,63	15,09	10,94	5,46
Desviación estándar	1,31	3,87	4,49	3,94	2,75	1,86	1,47	0,98	0,46
% de incumplimiento	80,0%	37,2%	5,7%	2,3%	10,7%	47,6%	21,5%	0,8%	0,0%

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 19 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



Para determinar la tendencia general existente en los tamaños granulométricos y las variaciones presentes en las mallas que conforman la curva granulométrica de las muestras de mezcla de tamaño de 19 mm analizadas durante el periodo comprendido desde marzo a octubre de 2018 se aplica el método gráfico, explicado anteriormente.

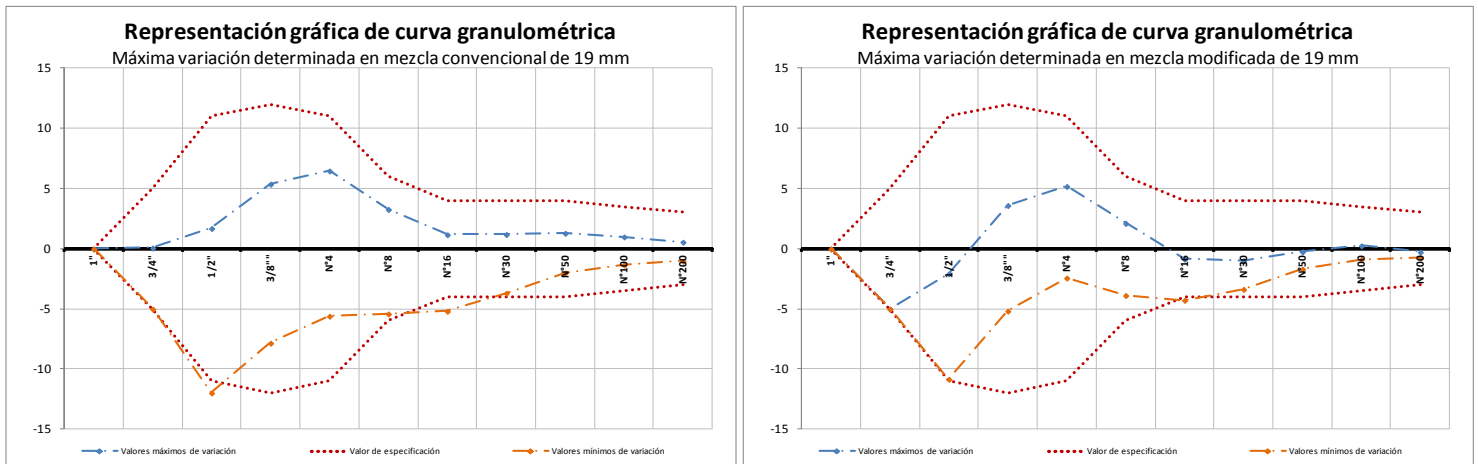


Figura 7. Representación gráfica de las curvas granulométricas para las mezclas asfálticas analizadas de TMN de 19 mm para mezcla convencional y mezcla modificada con polímeros. Fuente: Auditoría Técnica

De las gráficas de la Figura 7 se observa que para las mallas de 3/4" y 1/2" para ambos tipos de mezcla (convencional y modificada) se ubican en la fracción fina de la especificación. En cuanto a las mallas de 3/8", N°4 y N°8 se ubican entre el límite grueso y fino de la especificación. Finalmente, los valores de la restante fracción fina (N° 16 a N° 200) muestran una tendencia evidente a ubicarse en la parte fina de la especificación.

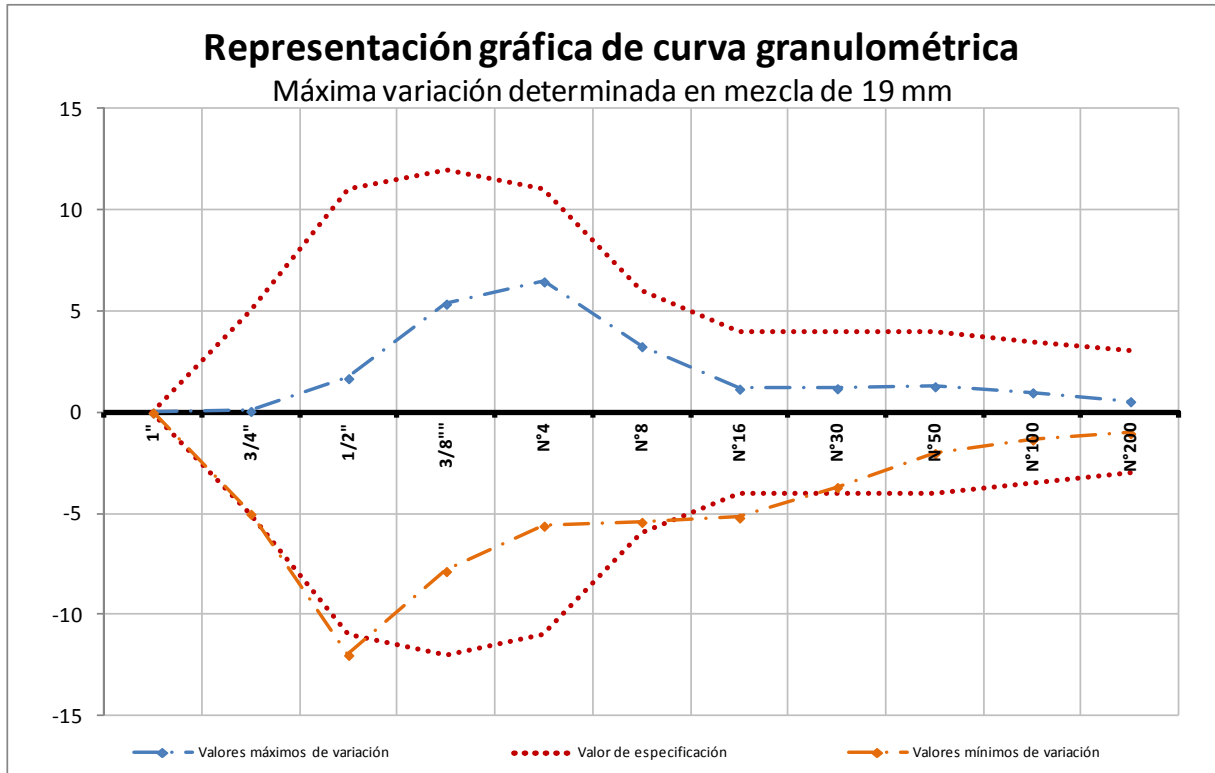


Figura 8. Representación gráfica de la variación de las curvas granulométricas de todas las mezclas asfálticas de TMN de 19 mm analizadas. Elaborado por: Auditoría Técnica

En consecuencia de la Figura 8 se puede evidenciar que para las curvas granulométricas de las mezclas asfálticas producidas durante el periodo de análisis del año 2018:

- Los materiales de la fracción gruesa, particularmente el material de la malla de $\frac{3}{4}$ pulgada se ubicó durante todo el periodo de análisis en la porción fina de la especificación. Mientras que los materiales de las mallas de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4 y N°8 pulgada se mantienen entre la porción fina y la gruesa.
- En el material compuesto por las mallas N°16 a N°200 muestran una tendencia a mantenerse entre las porciones gruesa y fina de la especificación.
- Se observa que la menor variación se obtiene en la malla 200 con una magnitud de 1,6%.



SOBRE EL CONTENIDO DE ASFALTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA

HALLAZGO 2. PARA EL PARÁMETRO CONTENIDO DE ASFALTO PARA LAS MUESTRAS DE ANALIZADAS SE DETERMINAN RESULTADOS CON VARIABILIDAD PARA LA MEZCLA DE 12MM Y ALGUNOS INCUMPLIMIENTOS EN LA MEZCLA DE 19MM YA QUE MUESTRAN VALORES FUERA DEL ÓPTIMO $\pm 0,5\%$ ESTABLECIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLA VIGENTE.

Para el periodo analizado se produjo mezcla asfáltica con dos tipos de tamaño máximo de agregados, a saber con agregado de $\frac{1}{2}$ pulgada (12,5 mm) y con agregado de $\frac{3}{4}$ pulgada (19 mm). Durante este periodo se utilizó asfalto convencional para la elaboración de la mezcla asfáltica, pero también se modificó el asfalto mediante adición de polímeros para la producción de mezcla asfáltica modificada. En la Tabla 6, se detallan los contenidos de asfalto estimados en los diseños de mezcla (denominado contenido óptimo de asfalto) presentados por cada una de las empresas contratistas, para cada uno de los tipos de mezcla asfáltica analizados en el presente informe.

Tabla 6. Parámetros generales de los diseños de mezcla asfáltica

Planta	Contenido óptimo de asfalto PTM (rango óptimo)			
	TMN 12 mm		TMN 19 mm	
	Convencional	Modificada	Convencional	Modificada
Meco, Uruca (MU)	5,85% (5,35% - 6,35%)	sin muestra	sin muestra	5,50% (5,0% - 6,0%)
Meco, Bagaces (MB)	5,70% (5,2% - 6,2%)	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Meco, Río Claro (MRC)	sin muestra	sin muestra	5,60% (5,10%-6,10%)	sin muestra
Meco, Guápiles (MG)	sin muestra	5,80% (5,3% - 6,3%)	5,60% (5,10%-6,10%)	5,50% (5,0% - 6,0%)
Conansa, Calle Blancos (Co)	5,55 % (5,05% - 6,05%)	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Hernán Solís, Abangares (HSA)	sin muestra	sin muestra	5,60% (5,10%-6,10%)	sin muestra
Hernán Solís, Guápiles (HSG)	6,07% (5,57% - 6,57%)	6,12% (5,62% - 6,62%)	sin muestra	sin muestra
Quebradores del Sur (QS)	sin muestra	sin muestra	5,60% (5,10%-6,10%)	
Constructora Herrera (CH)	5,55 % (5,05% - 6,05%)	sin muestra	sin muestra	sin muestra

A. Mezcla asfáltica de tamaño de 12,5 mm

De acuerdo con los requisitos establecidos en la sección 4 "Especificación Especial de Mezcla Asfáltica en Caliente elaborada por el diseño Marshall" de la licitación pública

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 22 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



2014LN-000018-0CV00 para la mezcla asfáltica, en donde se establece que el parámetro de contenido de asfalto debe mantenerse en $\pm 0,5\%$ respecto al valor óptimo de asfalto indicado en el diseño de mezcla o en la fórmula de trabajo vigente.

Se observa que, para el periodo de estudio comprendido desde enero a octubre de 2018, el parámetro de contenido de asfalto se mantiene dentro del margen permitido de $\pm 0,5\%$ respecto al valor del óptimo de asfalto indicado en el diseño de mezcla, para todas las muestras de mezcla asfáltica (convencional y modificada) de tamaño de 12,5 mm tomadas en las respectivas plantas de producción. En la Figura 9 se presentan gráficamente los resultados de los ensayos de las muestras analizadas, en donde se observa la variabilidad de los resultados, algunos cercanos a los límites permitidos, pero la mayoría cercano al centro de la especificación. Se indica el valor de contenido de asfalto obtenido para cada muestra ensayada; así como los límites del rango óptimo, de acuerdo con los datos del informe de diseño de mezcla vigente.

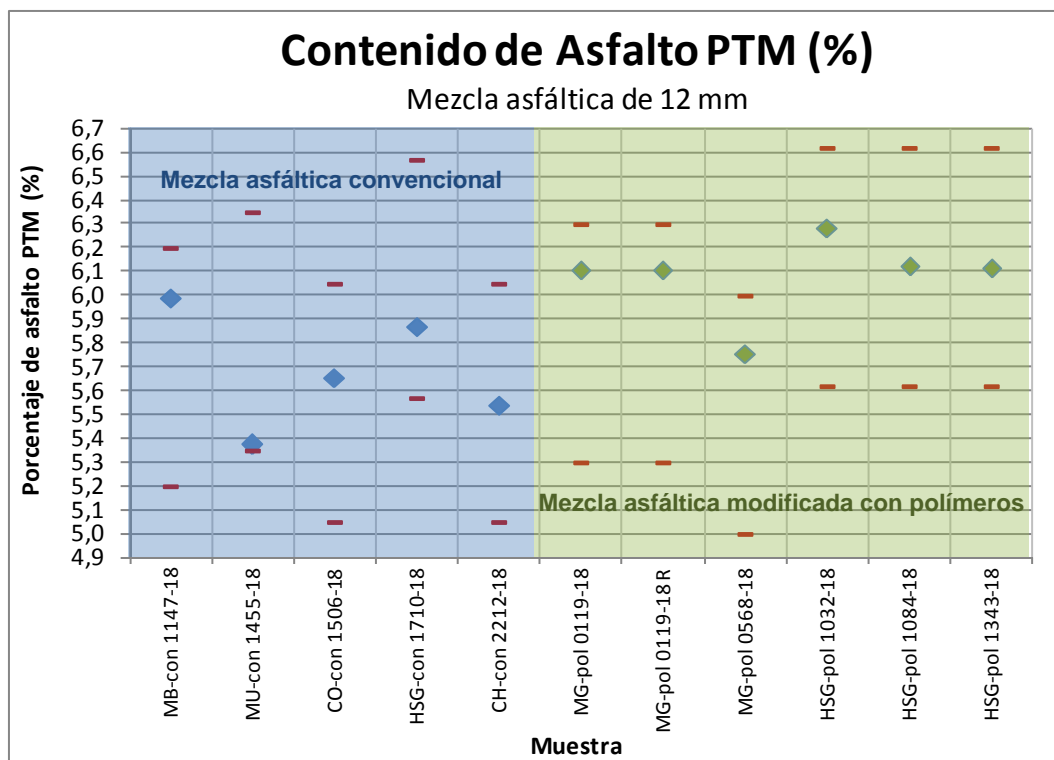


Figura 9. Resultados de contenido de asfalto para todas las plantas de producción de mezcla asfáltica analizadas de TMN de 12,5mm. Elaborado por: Auditoría Técnica

Del análisis de los resultados mostrados en la Figura 9 se advierte que los valores de asfalto para las mezclas convencionales se encuentran dentro de los límites permitidos, con valores



entre 5,4% hasta 6,0%. Se observa un resultado (planta MU) cercano al límite permisible indicado en el diseño de mezcla asfáltica.

Por su parte los resultados de las mezclas asfálticas modificadas se ubican alrededor del 6,1% de contenido de asfalto y todos se mantienen dentro del ámbito permisible (contenido óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$) indicado en cada uno de los diseños de mezcla.

B. Mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm

Los requisitos para el parámetro de contenido de asfalto se establecen en el apartado 401.06 de la sección 4 "Especificación Especial de Mezcla Asfáltica en Caliente elaborada por el diseño Marshall" de la licitación pública 2014LN-000018-0CV00, en donde se especifica que dicho porcentaje debe mantenerse en $\pm 0,5\%$ respecto al valor óptimo de asfalto indicado en el diseño de mezcla o en la fórmula de trabajo vigente.

En la Figura 10 se representan los resultados de los ensayos de las muestras analizadas de mezcla asfáltica convencional y mezcla modificada de tamaño de agregado de 19 mm, para el periodo de estudio comprendido desde febrero a octubre de 2018. En la gráfica se indica el valor de contenido de asfalto obtenido para cada muestra ensayada; así como los límites del rango óptimo aplicables, de acuerdo con los datos del informe de diseño de mezcla vigente.

Se determina que el 54% de los resultados de contenido de asfalto de las muestras de mezcla asfáltica convencional con tamaño de agregado de 19 mm para las plantas de producción MG, QS, MRC y HSA se mantienen dentro del margen permitido de $\pm 0,5\%$ respecto al valor del óptimo de asfalto indicado en el diseño de mezcla. Además se evidencia que 2 (22%) de los resultados se mantienen fuera de los límites permitidos.

Además, se evidencia que el 87% de los valores de contenido de asfalto se ubican en el rango de menor cantidad de asfalto (desde óptimo hacia el límite inferior), sin que ninguno sea superior a 6% de contenido de asfalto, incluso 3 de los valores son cercanos o menores a 5% (MG=5,05% y 5,13%. HSA=4,86%).

En cuanto a la mezcla asfáltica modificada con polímero se precisa que el 62% de los resultados se encuentran dentro de los límites permisibles que se indican en cada uno de los diseños de mezcla, con un contenido de asfalto alrededor de 5,7% para las muestras de MU y MG. Uno de los resultados de contenido de asfalto se ubica fuera del límite inferior permitido con un valor de 4,9% en la planta de MG.

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 24 de 68
-------------------------	-------------	-----------------

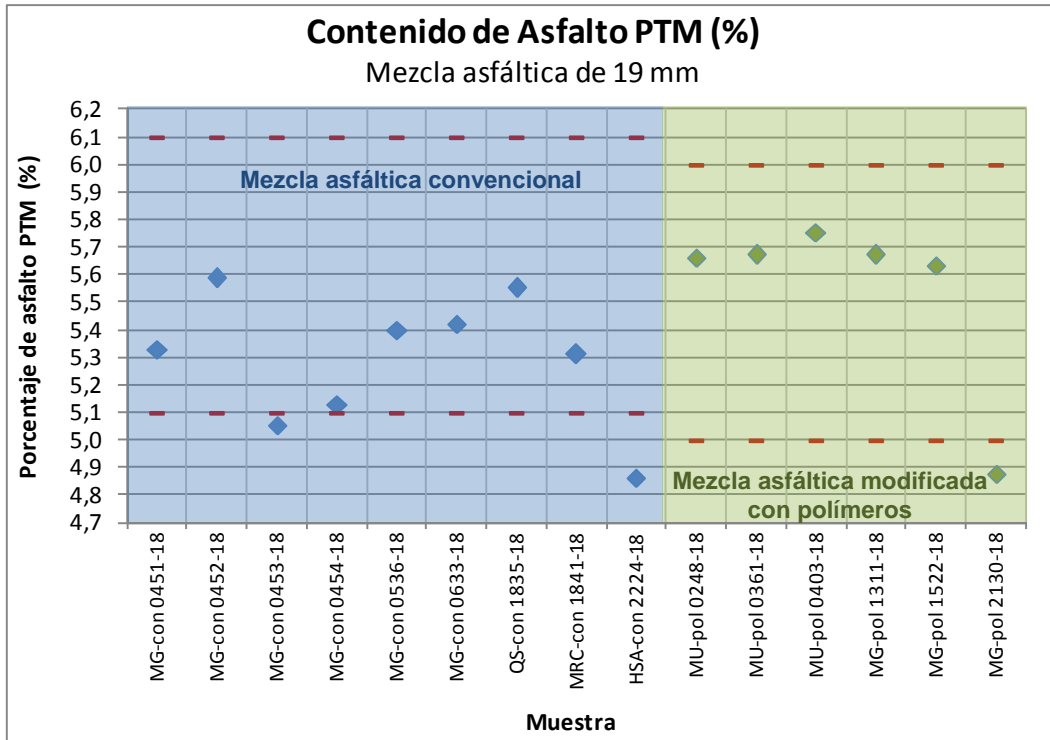


Figura 10. Resultados de contenido de asfalto para todas las plantas de producción de mezcla asfáltica analizadas de 19 mm. Elaborado por: Auditoría Técnica



SOBRE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA

HALLAZGO 4. SE EVIDENCIA QUE LA MAYORÍA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA POR LAS PLANTAS PRODUCTORAS ANALIZADAS PRESENTAN INCUMPLIMIENTOS EN ALGUNOS DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS MARSHALL PARA ACEPTACIÓN O PAGO TALES COMO: CONTENIDO DE VACÍOS, VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA), VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (VFA) Y EN LA RELACIÓN POLVO/ASFALTO ESTABLECIDOS EN EL CARTEL DE LICITACIÓN.

A. Mezcla asfáltica de tamaño de 12,5 mm

Según los parámetros establecidos en la sección 4 "Especificación Especial de Mezcla Asfáltica en Caliente elaborada por el diseño Marshall" de la licitación pública 2014LN-000018-0CV00, se indica que la mezcla asfáltica debe cumplir con una serie de requisitos de aceptación y de evaluación en apego con lo establecido por el método Marshall. Tales requisitos definen unos valores requeridos, con el fin de proveer a la mezcla asfáltica de características físicas y de resistencia adecuadas, en la Tabla 7 se presentan los rangos admisibles según la metodología Marshall.

Tabla 7. Especificación de parámetros según el método Marshall

Parámetro	Especificaciones
Estabilidad	Mínimo 800 kg
Flujo	20 a 35 ¹ / ₁₀₀ cm
Vacíos en la mezcla ¹	3% a 5%
Vacíos en agregado mineral (VMA) (*)	Mínimo 14%
Vacíos llenos de asfalto (VFA) (*)	65% a 75%
Relación polvo/asfalto ¹ (§)	0,6 a 1,6 %

¹ Requisito de evaluación (valoración de pago), según cartel de licitación.

(*) Parámetros volumétricos de aceptación de la mezcla asfáltica

§ De acuerdo a directriz del Ministro. Según cartel de licitación es hasta 1,3%.

Con el propósito de corroborar el cumplimiento de estas especificaciones, el LanammeUCR procedió a realizar muestreos en las plantas de producción de mezcla asfáltica que despachan mezcla para los proyectos de conservación vial de acuerdo con las líneas y zonas definidas en la licitación pública 2014LN-000018-0CV00, según el detalle que se muestra en la Tabla 7.

Del análisis general se observa que para los diferentes parámetros de calidad establecidos para la mezcla asfáltica se denotan incumplimientos en los parámetros que definen la volumetría de la mezcla asfáltica, siendo estos: contenido de vacíos de la mezcla, vacíos en



el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA) y la relación polvo/asfalto, los cuales se analizarán individualmente en las secciones subsiguientes.

Contenido de vacíos de la mezcla

En la Figura 11 se presentan los resultados de contenido de vacíos en la mezcla obtenidos por el LanammeUCR, para cada una de las mezclas asfáltica (convencional y modificada) incluidas en el estudio. Se evidencia que la mezcla asfáltica convencional reporta un nivel de incumplimiento del 68% (MB, MU, CO, HSG y CH). Para la planta de MU el resultado supera el límite superior, con un valor de 5,4%.

En cuanto a la mezcla modificada se determina que para la variabilidad exhibida por las plantas productoras (tal como se muestra en la Figura 11) cerca del 90% de los valores se encuentran fuera de los límites de contenido de vacíos. Las plantas asfálticas (MG y HSG) demuestran valores de contenido de vacíos fuera del rango permitido (3% a 5%) llegando a un valor a 6,63%.

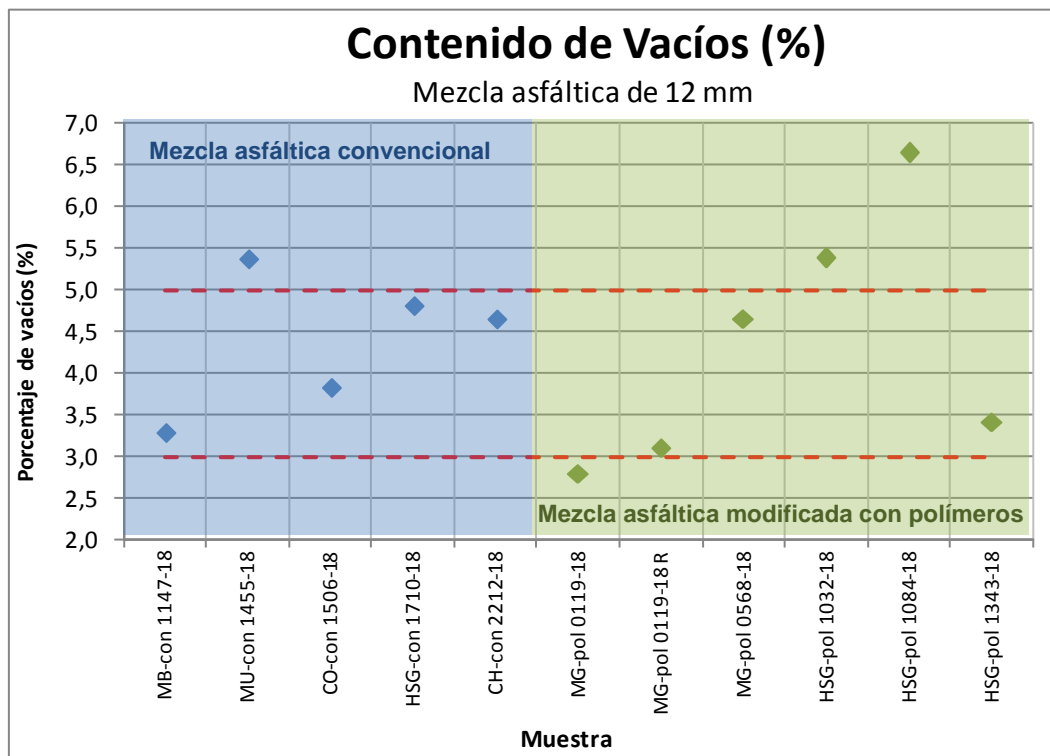


Figura 11. Contenido de vacíos y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 12,5mm de todas las plantas estudiadas. Elaborado por: Auditoría Técnica



Valores de vacíos altos podrían producir un envejecimiento prematuro de la mezcla, ya que son más permeables y por tanto más propensos a sufrir los efectos dañinos de la humedad.

Parámetro de vacíos en el agregado mineral (VMA)

En la Figura 12 se presenta de forma gráfica los resultados de vacíos en el agregado mineral (VMA) obtenidos para las plantas analizadas en el periodo de estudio; se determina el nivel de cumplimiento con relación al valor mínimo de 13% requerido por la metodología Marshall. Del análisis de los resultados obtenidos para la mezcla asfáltica convencional se evidencia que todas las muestras cumplen el límite especificado en las 5 las plantas (MB, MU, CO, HSG y CH) analizadas.

Respecto a la mezcla asfáltica modificada se observa un nivel de cumplimiento del 71% respecto al límite de valor mínimo requerido en la especificación de VMA. Solamente una muestra de la planta (HSG) se encuentra por debajo del mínimo permitido, esta circunstancia podrían producir problemas de durabilidad de la mezcla producida.

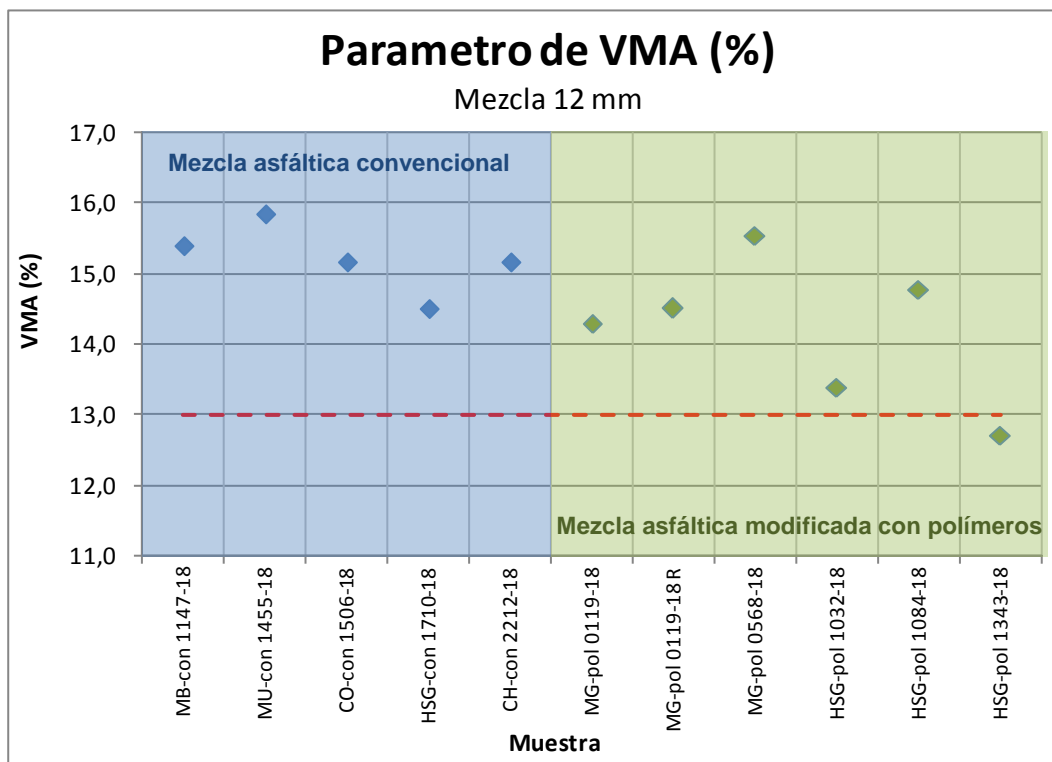


Figura 12. Parámetro VMA y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 12,5mm de todas las plantas estudiadas.



Parámetro de vacíos llenos de asfalto (VFA)

Con relación al parámetro de vacíos llenos con asfalto (los resultados se observan en la **Figura 13**) la especificación establece que los valores que rigen para condiciones de tránsito alto deben estar entre 65% a 75%, ya que la mayoría de la mezcla asfáltica es destinada para ser colocada en sitios de estas condiciones de tránsito. El nivel incumplimiento es de 81% y 71% para la mezcla convencional y mezcla modificada, respectivamente. Se observan valores entre 78 % y 80%; para las plantas de MB y MG. Lo anterior puede ser un indicativo de un VMA alto, por lo que la mezcla al tener un bajo contenido de vacíos se debe llenar el espacio restante con un alto contenido de asfalto. Cuando el valor de VFA se encuentra entre 80%-85%, la mezcla se vuelve inestable y pueden producirse deformaciones en la carpeta asfáltica (ahuellamiento).

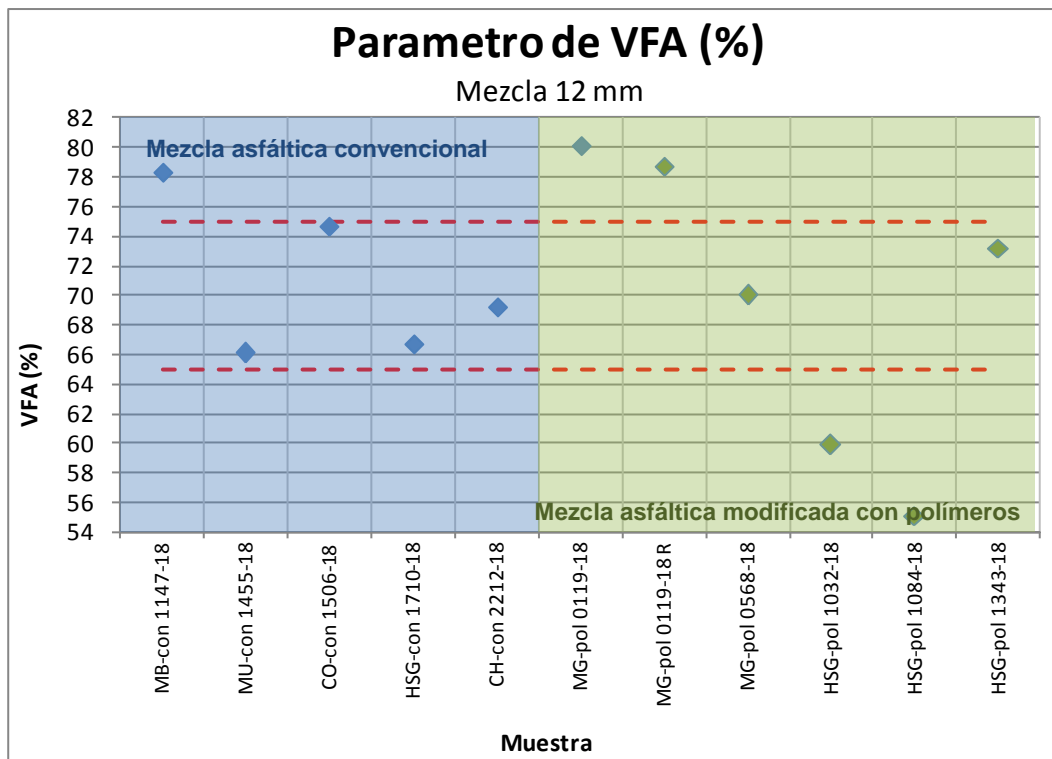


Figura 13. Parámetro VFA y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 12,5mm de todas las plantas estudiadas.



Relación Polvo Asfalto

En la **Figura 14** se presentan de forma gráfica los resultados de ensayo obtenidos tanto para mezcla convencional, como para mezcla modificada con polímero. Además, se presenta el nivel de incumplimiento con relación al parámetro relación polvo-asfalto, cuyo valor permitido por las especificaciones se establece entre 0,6% y 1,3%¹.

Al evaluar los límites de especificación se determina que en cuatro centros de producción (CO_{con}, HSG_{con}, CH_{con} y HSG_{pol}) los valores se ubican por encima o sobre el límite superior. Al determinar el nivel de cumplimiento general se establece solamente que el 10% (mezcla convencional) y el 17% (mezcla modificada) de los valores satisfacen la especificación. Sin embargo, al analizar los resultados con relación a la modificación temporal, el porcentaje de cumplimiento varían sustancialmente a valores de 84,1% y 99,8%.

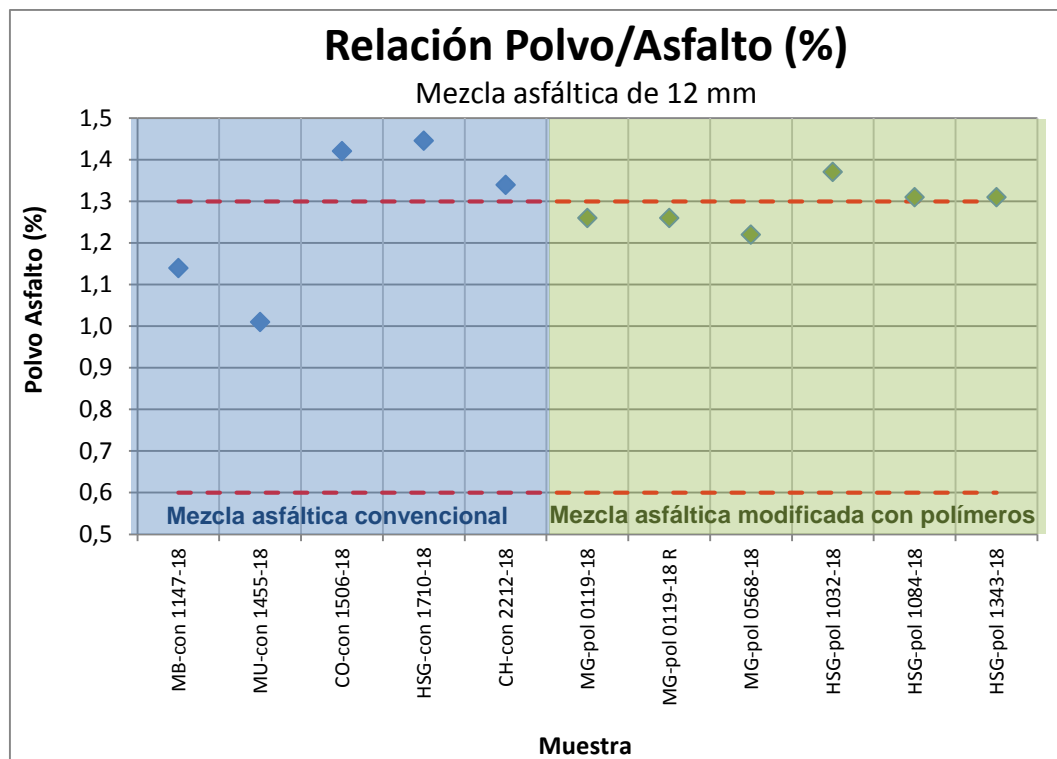


Figura 14. Relación polvo/asfalto y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 12,5mm de todas las plantas estudiadas.

¹ Basado en directriz del Ministro se aumenta temporalmente el límite de la especificación a 1,6%.



B. Mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm

Los requisitos que proveen a la mezcla asfáltica de características físicas y de resistencia adecuadas se definen mediante los parámetros establecidos en la sección 4 "Especificación Especial de Mezcla Asfáltica en Caliente elaborada por el diseño Marshall" de la licitación pública 2014LN-000018-0CV00 en donde se indican los requisitos de aceptación y de evaluación en apego con lo establecido por el método Marshall y se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Especificación de parámetros según el método Marshall

Parámetro	Especificaciones
Estabilidad (*)	Mínimo 800 kg
Flujo (*)	20 a 35 ¹ / ₁₀₀ cm
Vacíos en la mezcla ¹	3% a 5%
Vacíos en agregado mineral (VAM) (*)	Mínimo 13%
Vacíos llenos de asfalto (VFA) (*)	65% a 75%
Relación polvo/asfalto (§)	0,6 a 1,6 %

¹ Requisito de evaluación (valoración de pago), según cartel de licitación.

(*) Parámetros volumétricos de aceptación de la mezcla asfáltica

§ Basado en directriz del Ministro se aumenta temporalmente el límite de la especificación a 1,6%.

Con relación a la mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm se realizaron muestreos en las plantas de producción establecidas para los proyectos de conservación vial de acuerdo con el detalle que se muestra en la **Tabla 2**. Del análisis general se evidencia que para algunos de los parámetros de calidad establecidos para la mezcla asfáltica se denotan incumplimientos en los parámetros que definen la volumetría de la mezcla asfáltica, siendo estos: contenido de vacíos de la mezcla, vacíos llenos de asfalto (VFA) y la relación polvo/asfalto, los cuales se analizarán individualmente a continuación.

Contenido de vacíos de la mezcla

De los resultados presentados en la Figura 15 se observa que uno de los valores de contenido de vacíos se encuentra fuera de los límites de especificación para la planta de producción de mezcla asfáltica convencional HSA. Al evaluar los resultados de todas las plantas -incluidas en el estudio- se determina un cumplimiento del 55% (MG, QS, MRC y HSA). Para la planta de MRC el resultado se ubica prácticamente sobre límite superior.

De la misma manera se analizan los resultados de la mezcla asfáltica modificada con polímeros, de la Figura 15 se observa que hay dos resultados fuera de los límites de especificación (correspondientes a la planta MG), lo cual produce que de forma general el incumplimiento inferido estadísticamente sea de un 97,8%. Los resultados de la planta MU se mantienen dentro de lo estipulado en la especificación de vacíos.

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 31 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



Valores altos de contenido de vacíos podrían producir un envejecimiento prematuro de la mezcla, ya que son más permeables y por tanto más propensos a sufrir los efectos dañinos de la humedad.

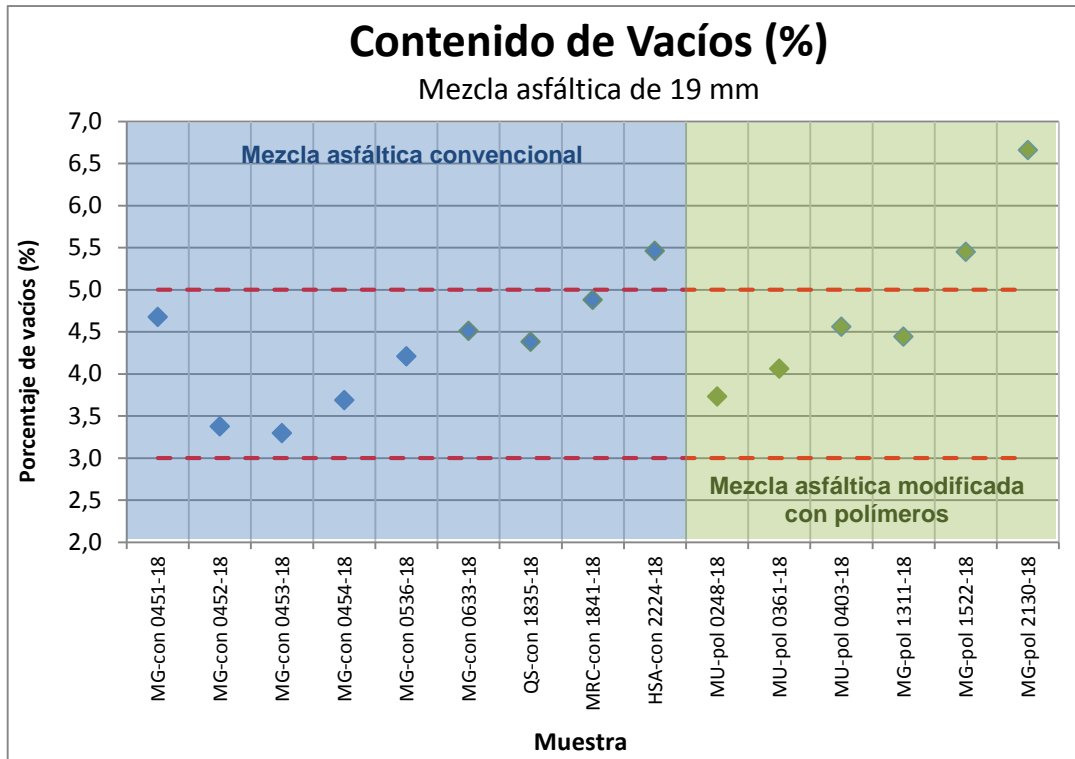


Figura 15. Contenido de vacíos y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 19mm de todas las plantas estudiadas. Elaborado por: Auditoría Técnica

Parámetro de vacíos en el agregado mineral (VMA)

Los resultados de vacíos en el agregado mineral (VMA) obtenidos para ambos tipos de mezcla asfáltica abarcadas en el periodo de estudio se presentan de forma gráfica en la **Figura 16**. Asimismo, para la mezcla convencional (MG, QS, MRC y HSA) se determina un nivel de cumplimiento del 90% con relación al valor requerido por la metodología Marshall, en tanto que el cálculo del cumplimiento inferido en la mezcla modificada (HSA, MU y MG) muestra que un 100% de las muestras satisfacen la normativa.

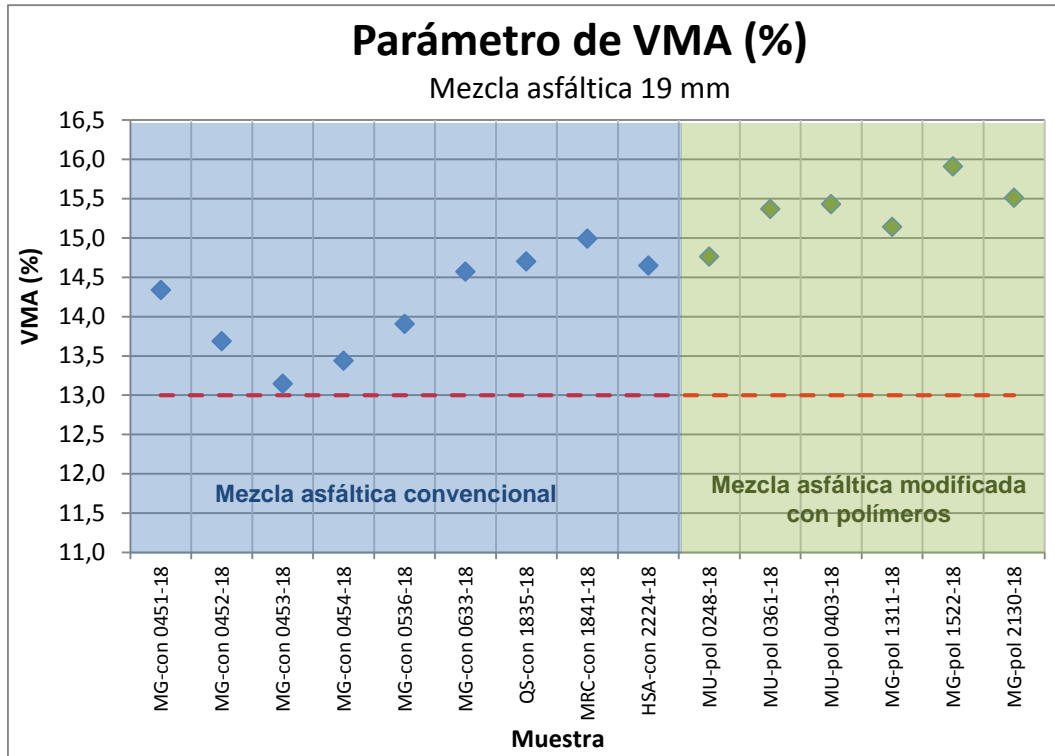


Figura 16. Parámetro VMA y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 19mm de todas las plantas estudiadas.

Parámetro de vacíos llenos de asfalto (VFA)

La especificación del parámetro de vacíos llenos con asfalto establece que los valores deben estar entre 65% a 75% para condiciones de tránsito alto. Tanto la mezcla asfáltica elaborada con asfalto convencional, como la mezcla asfáltica producida con asfalto modificado con polímeros se han estado colocando en sitios con condiciones de alto tránsito, por lo que se evalúa la especificación indicada.

En la mezcla convencional se logra determinar un nivel de cumplimiento de 53% para este parámetro para las plantas MG, QS, MRC y HSA, los resultados se muestran en la **Figura 17**. La mezcla de planta de HSA determina un valor de 63%, lo cual se consideraría una variabilidad moderada.

Por su parte, la mezcla modificada con polímeros establece un nivel de cumplimiento del 51% para los resultados obtenidos en las mezclas de las plantas MU y MG.

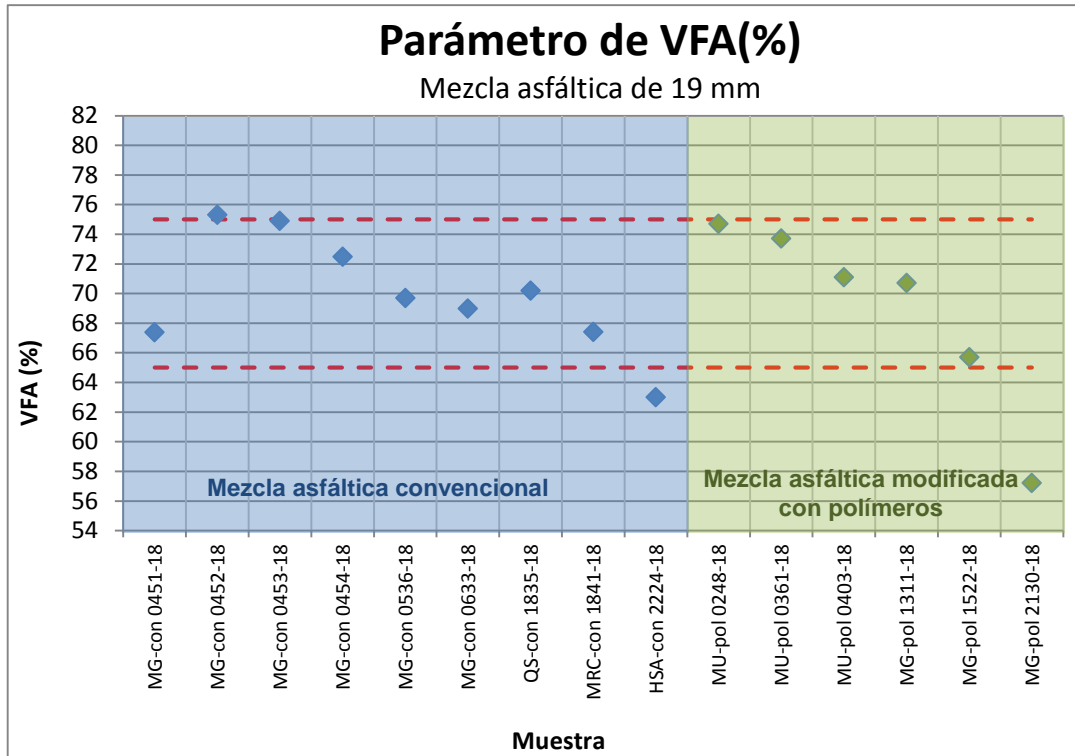


Figura 17. Parámetro VFA y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 19mm de todas las plantas estudiadas.

Relación Polvo Asfalto

En la **Figura 18** se presentan de forma gráfica los resultados de ensayo, así como el nivel de incumplimiento con relación al parámetro relación polvo-asfalto, cuyo valor permitido por las especificaciones se establece entre 0,6% y 1,3%². Al evaluar estos límites de especificación se determina que en las mezclas analizadas de la planta MG se ubican entre 1,3 y 1,5. Mientras que los resultados de los demás centros de producción (QS, MRC y HSA) los valores se ubican entre los valores especificados estableciendo porcentajes de cumplimiento del 75%.

Al evaluar los resultados de la mezcla modificada con polímero, se obtiene un porcentaje de cumplimiento de 65% para las plantas de MU y MG. Sin embargo, al evaluar la modificación temporal no se evidencian incumplimientos con relación a los límites de especificación.

² Basado en directriz del Ministro se aumenta temporalmente el límite de la especificación a 1,6%.

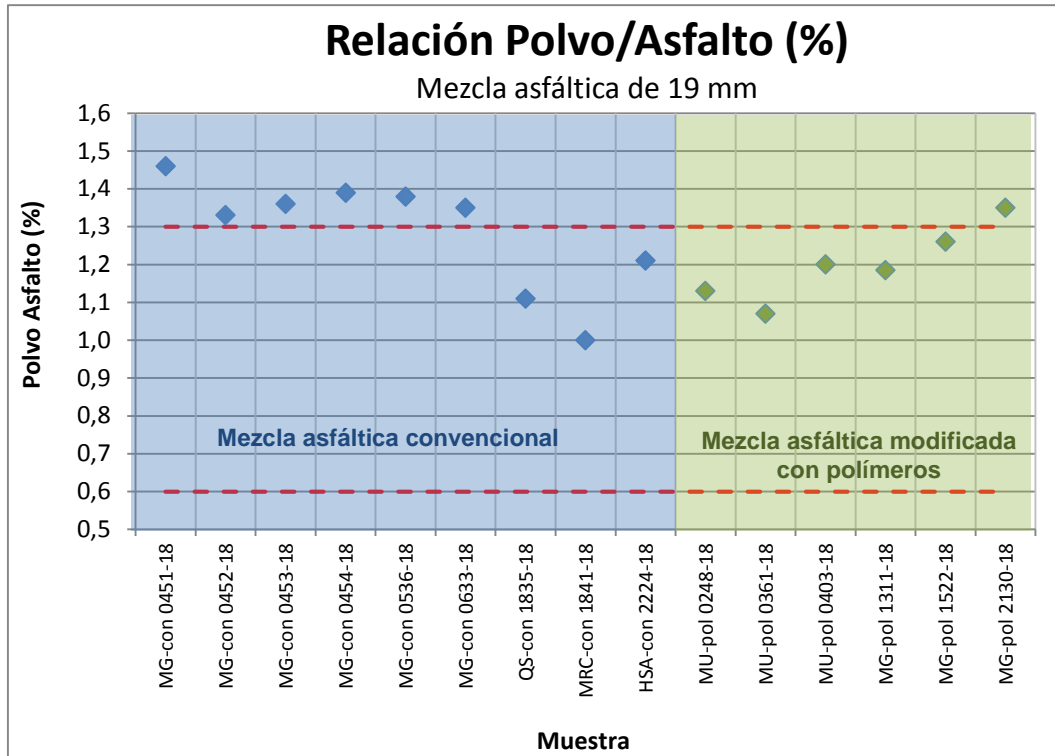


Figura 18. Relación polvo/asfalto y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 19mm de todas las plantas estudiadas.

C. Análisis de polvo asfalto ambas tipos de mezcla asfáltica

Al analizar por separado la influencia de cada uno de los parámetros que conforman la relación polvo asfalto (presentados en la **Figura 19**), los cuales corresponden al porcentaje pasando la malla 200 en la granulometría de la mezcla asfáltica y el segundo se refiere al contenido de asfalto efectivo, se logra establecer que el porcentaje pasando en la malla 200, para ambos tipos de mezcla (convencional y modificada), que el 76% de los valores sean mayores a 5,2% hasta 6,2%, (llegando un valor a un valor de 7,0%) lo que los sitúa en el porción alta de la especificación de filler.

Con respecto a los resultados de contenido de asfalto efectivo, presentados en la Figura 20, se observa una tendencia hacia la zona de menor contenido de asfalto con valores de asfalto efectivo entre 3,5% a 5,0%. Esta situación promueve el 48% de los resultados sean iguales o mayores a la especificación ordinaria de la relación polvo-asfalto. Por otra parte, se denota que el 24% de los resultados se mantiene dentro de los límites de especificación, utilizando una cantidad de polvo menor (entre 4,4% y 4,8%).



Estas mezclas al tener una alta cantidad de material llenante (filler granular) y poco asfalto, producen una argamasa (mastic) que tiende a proporcionar una rigidez excesiva a la mezcla asfáltica.

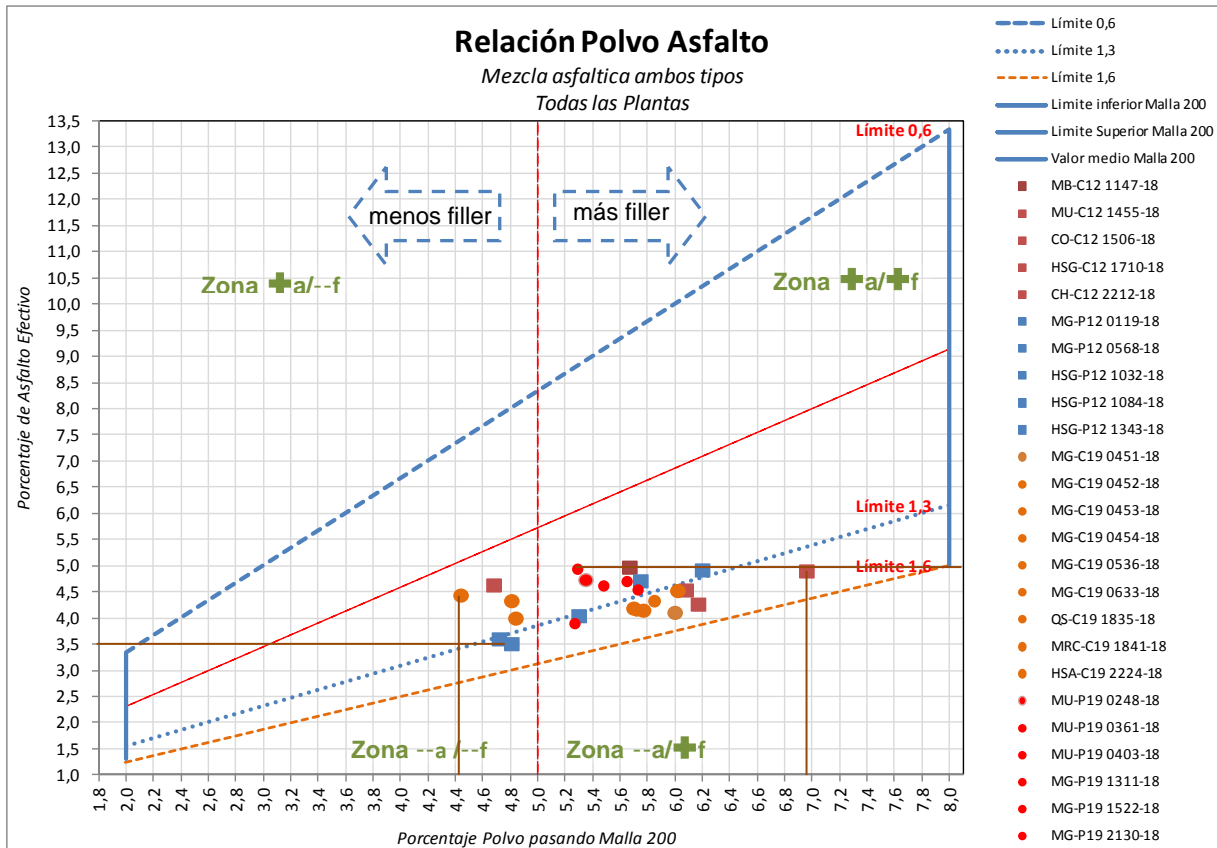


Figura 19. Representación de los parámetros de malla 200 (polvo) y contenido de asfalto efectivo comparados con los límites de especificación para todas las plantas estudiadas.



11.2.RESULTADOS DE DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

A continuación, se analizan los resultados de ensayos de desempeño típicos, tales como deformación permanente (APA), rueda de Hamburgo, fatiga y número de flujo, con los que se analiza el comportamiento de la mezcla asfáltica para predecir su comportamiento durante la etapa de servicio.

SOBRE LA DEFORMACIÓN PERMANENTE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Las deformaciones plásticas son ondulaciones que se forman frecuentemente en sentido longitudinal, específicamente en las huellas por donde circulan los neumáticos sobre el pavimento. También se pueden presentar a lo ancho del pavimento, manifestándose como desplazamiento u ondulaciones de la mezcla. Representan la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes³ en las capas del pavimento producidas por aplicaciones de carga cíclica provenientes de la circulación de los vehículos. Es uno de los tipos de deterioro que más preocupa dentro del estudio del comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente (Rico A., Del Castillo H., 1992).

Las deformaciones se examinan desde dos puntos de vista: por un lado, las deformaciones excesivas están asociadas a condiciones de falla, y por otro, porque un pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones, independientemente de que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural propiamente dicho (Rico A., Del Castillo H., 1992).

El comportamiento de la mezcla asfáltica ante la deformación plástica está íntimamente relacionado con el tipo de ligante asfáltico, la composición granulométrica, calidad de los agregados pétreos empleados para la fabricación de la mezcla, contenido de aire inicial⁴ in situ y tipo de tránsito. Por ello, se necesita que la mezcla esté elaborada con un ligante asfáltico resistente, que a temperaturas relativamente altas se comporte lo más próximo a un sólido elástico. La deformación permanente se reduce conforme aumenta la rigidez del ligante asfáltico, ya que se obtiene una mayor resistencia mecánica de la mezcla. Habitualmente, para obtener asfaltos más rígidos, se recomienda el uso de ligantes asfálticos modificados. Como se detallará más adelante, los asfaltos convencionales AC-30 utilizados en Costa Rica, muestran un comportamiento adecuado a la deformación permanente.

Desde el punto de vista del material pétreo, para reducir la susceptibilidad a la deformación permanente de mezclas asfálticas, se ha observado que influye significativamente la

³ Ocurre porque el módulo de corte del material no es suficiente para evitar que ocurra deformación angular permanente.

⁴ El cual depende directamente de un buen o mal proceso constructivo.

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 37 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



composición granulométrica y la calidad del agregado, mezclas más gruesas, con agregados de mayor tamaño y más cúbicos reducen la susceptibilidad significativamente.

También este tipo de mecanismo de falla está influenciado por las velocidades de operación del tráfico (a menor velocidad más tiempo de carga y mayor susceptibilidad a la deformación permanente).

OBSERVACIÓN 1. LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS SATISFACEN EL CRITERIO DE DEFORMACIÓN PERMANENTE UTILIZADO COMO VALOR DE COMPARACIÓN, EL CUAL SE EXTRACTA DEL CARTEL DE CONSERVACIÓN VIAL⁵ PARA MEZCLAS DE ALTO DESEMPEÑO.

Mediante el ensayo de susceptibilidad a la deformación permanente efectuado con la norma AASTHO T340 "Deformación con el Analizador de Pavimentos Asfálticos" (APA) se determinaron valores de ahuellamientos para cada una de las mezclas asfálticas ensayadas, esto con el fin de evaluar las propiedades mecánicas y su relación con el mecanismo de falla por deformación permanente.

El ensayo consiste en simular el paso de una rueda cargada con un peso de 100 lb, sobre una manguera con una presión interna de aire de 100 psi, la cual se coloca sobre un espécimen de mezcla asfáltica; el ensayo consta de 8000 ciclos. Como parámetro de referencia se utilizó la especificación establecida en el cartel de licitación LICITACIÓN PÚBLICA No. 2014LN-000018-0CV00 "MP y R Mantenimiento periódico y rehabilitación del pavimento de la red vial nacional pavimentada" para evaluar que tan alejados se encuentran los resultados de la mezcla asfáltica convencional con las expectativas de desempeño, en cuanto a susceptibilidad a la deformación permanente. Se utiliza como valor de comparación el mayor criterio de deformación para capas de rodadura (Tipo C), por estar evaluando mezcla asfáltica convencional.

⁵ LICITACIÓN PÚBLICA No. 2014LN-000018-0CV00 "MP y R Mantenimiento periódico y rehabilitación del pavimento de la red vial nacional pavimentada"

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 38 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



Tabla 9. Requisitos de deformación plástica para mezcla asfáltica por método Marshall.

TABLA A				
REQUISITOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS SBR				
Parámetro	Método de ensayo	Requisitos		
		Para usar sobre una base en una sola capa	Designación C	Designación D
Deformación plástica luego de 8000 ciclos de carga a 60°C. (2)	AASHTO T 340	≤ 2,5 mm	≤ 3,5 mm	≤ 2,5 mm

C. Mezcla asfáltica de tamaño de 12,5 mm

Los resultados de deformación permanente procedentes del ensayo en el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA) determinan que de acuerdo con criterios internacionales todos los valores obtenidos de deformación plástica reflejan que ambos tipos de mezclas asfálticas (convencional y modificada) con un buen comportamiento a la deformación permanente.

Sin embargo, al detallar los resultados obtenidos se determina que las mezclas elaboradas con polímero (plantas HSG y MG) son las que muestran la menor deformación de la mezcla con un valor cercano de 1,1 mm; en tanto las muestras de las mezclas fabricadas con asfalto convencional en las plantas de HSG, CH, MU y CO muestran un valor aproximado de 2,1 mm en la capacidad de soporte de deformación de la mezcla.

Deformación permanente (APA)

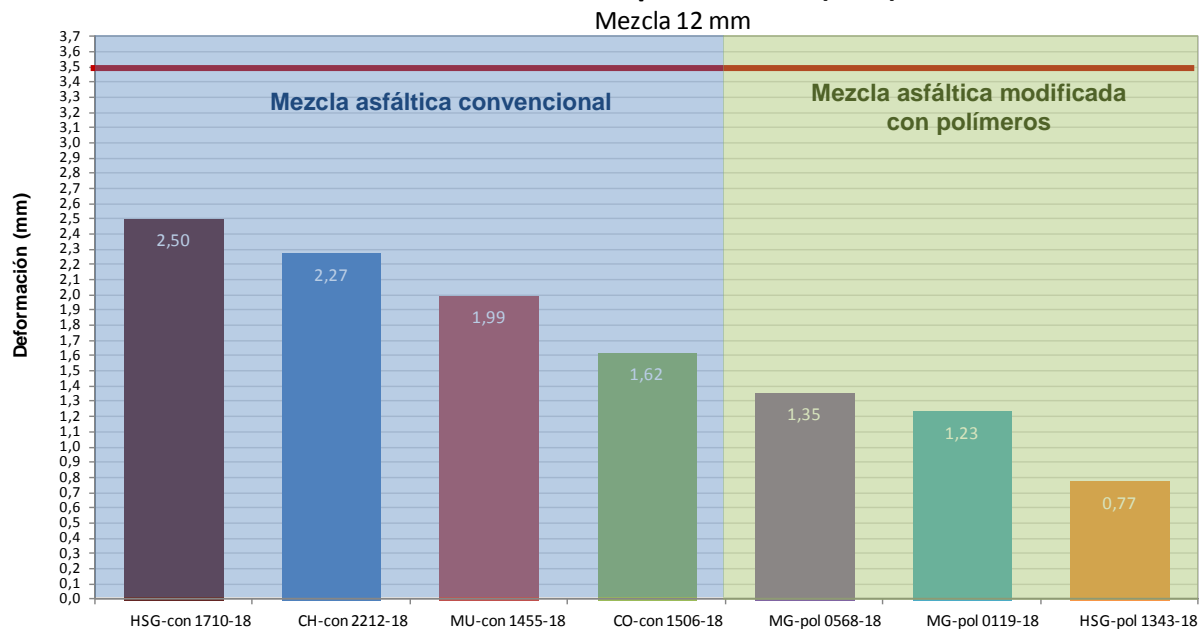


Figura 20. Resultados de deformación permanente para mezcla de tamaño de 12 mm.

D. Mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm

En cuanto al ensayo de deformación permanente en ambos tipos de mezclas asfálticas (convencional y modificada) de 19 mm, los resultados derivados del ensayo en el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), determinan de acuerdo con criterios internacionales, mezclas asfálticas de 19 mm con un buen comportamiento a la deformación permanente (ver Figura 21). Este tipo de mezclas asfálticas con tamaño de agregado más grande, son susceptibles a reportar desplazamientos mayores, por el tipo de mecanismo de falla (manguera de diámetro delgado) y la presencia de partículas grandes, que con el movimiento particular de una de ellas, afecta la medición realizada.

Sin embargo, al clasificarlas se nota que las mezclas modificadas con polímero manifiestan una menor deformación con valor promedio 1,1 mm para las muestras de MU y MG. Las mezclas convencionales de las plantas productoras MRC, MG, QS, MG y HSA muestran valores entre 2,0 mm a 2,6 mm para el resultado del ensayo de deformación permanente.



Deformación permanente (APA)

Mezcla asfáltica de 19 mm

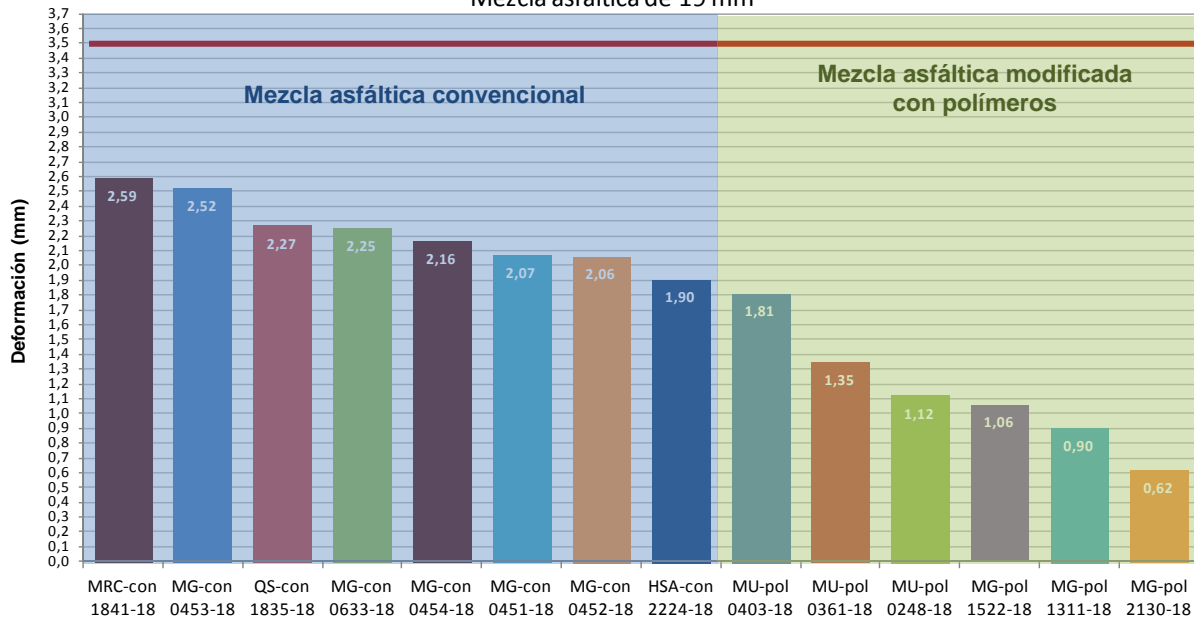


Figura 21. Resultados de deformación permanente para mezcla de tamaño de 19 mm.

E. Comparación de ambos tipos de mezcla

La propuesta de producir una mezcla asfáltica con agregados de mayor tamaño (tipo 19 mm), conlleva un aumento en la cantidad de partículas grandes, lo que permite concluir que este tipo de estructura de agregado va a soportar, de mejor manera, la deformación permanente en comparación que una mezcla con agregados de menor tamaño (tipo 12 mm). Sin embargo, como se puntualizó anteriormente las mezclas con agregados de mayor tamaño son más susceptibles a resultados adversos.

Todos los resultados obtenidos por las mezclas asfálticas analizadas, tanto convencionales como las modificadas con polímeros, se consideran competentes para el nivel de deformaciones plásticas solicitadas para carpetas asfálticas al comparar con criterios internacionales.

Al realizar la comparación de la deformación permanente para cada uno de los tipos de mezclas asfálticas, se logra determinar que en todos casos de análisis (HSG, MG y MU) la mezcla de 19 mm presenta una resistencia a la deformación menor a la que presenta la mezcla de 12 mm. Se establece una mejora en la resistencia del 29% para MU, del 53% para MG y de un 69% para HSG al adicionar polímero al ligante en la mezcla asfáltica.

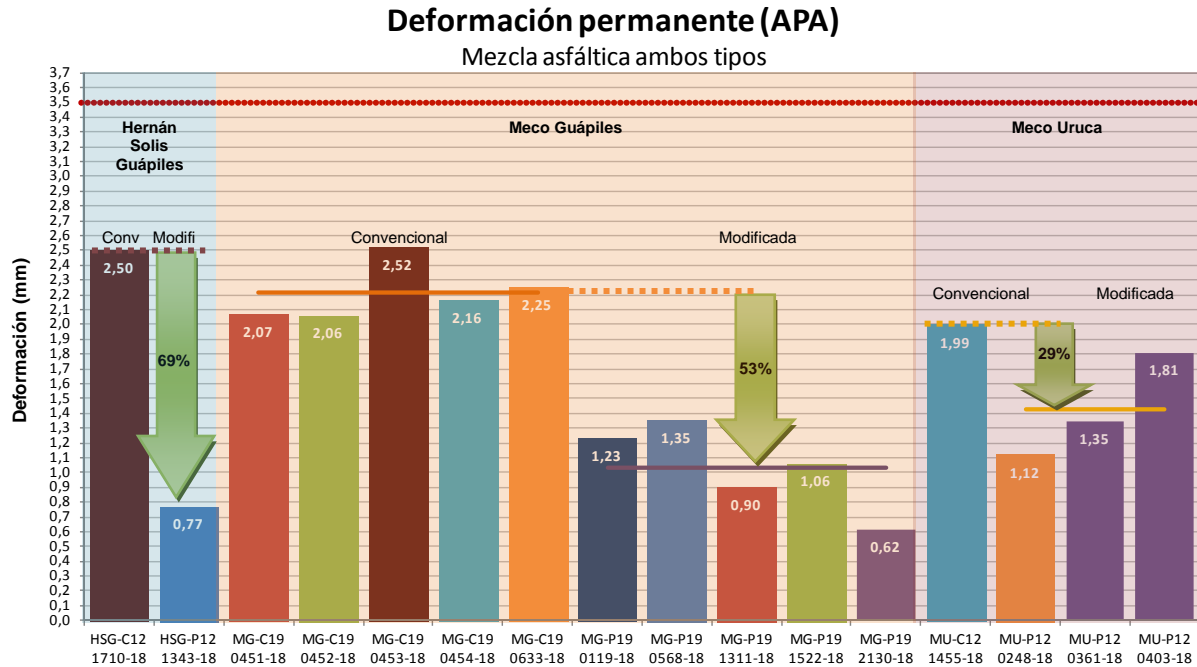


Figura 22. Resultados de deformación permanente para ambos tipos de mezcla.

SOBRE LA DEFORMACIÓN MEDIANTE RUEDA DE HAMBURGO

El ensayo de la Rueda de Hamburgo tiene como finalidad medir la susceptibilidad o el desempeño de una mezcla asfáltica a la deformación permanente y al daño por humedad, de manera simultánea. El ensayo permite identificar mezclas asfálticas con estructura mineral deficiente, que sean susceptibles a la formación de roderas o deformaciones permanentes. También permite identificar si una mezcla es susceptible al daño por humedad permitiendo identificar problemas de adherencia de los agregados pétreos con el ligante asfáltico.

OBSERVACIÓN 2. LAS MUESTRAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS MUESTRAN VALORES SATISFACTORIOS CON RELACIÓN AL VALOR DE REFERENCIA⁶ EMPLEADO PARA DEFORMACIÓN PERMANENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE DEFORMACIÓN "RUEDA DE HAMBURGO".

Durante el ensayo de la Rueda de Hamburgo se aplican 20 000 ciclos o una deformación límite de 20 mm a la muestra de mezcla asfáltica. A manera de criterio de falla de referencia se utiliza la especificación definida en la ciudad de Hamburgo que es de 4 mm de deformación máxima para autopistas, para considerar que la mezcla cumple con las expectativas de desempeño en cuanto a susceptibilidad a la humedad y deformaciones permanentes. Se considera que ésta normativa es sumamente exigente, por lo que algunos

⁶Especificación tomada de normativa de la Ciudad de Hamburgo.



estados de EU (Texas y Colorado) han establecido el límite de la especificación hasta 12,5 mm.

F. Mezcla asfáltica de tamaño de 12,5 mm

Conforme a los resultados de ensayo obtenidos en el ensayo de rueda de Hamburgo que se muestran en la Figura 5 se observa que la mayoría de la mezcla asfáltica de ambos tipos (convencional y modificada) de tamaño 12 mm resiste satisfactoriamente la deformación en presencia de humedad, esto demuestra que las mezclas asfálticas analizadas son muy competentes ante el daño por deformación permanente o ahuellamiento.

Se determina que el 75% de la mezcla modificada con polímero obtiene mejores resultados a la deformación que la mezcla convencional, debido a que la primera (MG y HSG) tiene un valor promedio de 1,6 mm; en tanto que la segunda (MU, CO y MG) determina un valor promedio de 2,5 mm.

No obstante una muestra correspondiente a la mezcla modificada de MG supera el valor obtenido por la mezcla convencional, reportando un valor de 2,8 mm de deformación. Lo cual se sigue considerando como un excelente comportamiento al ensayo de deformación.

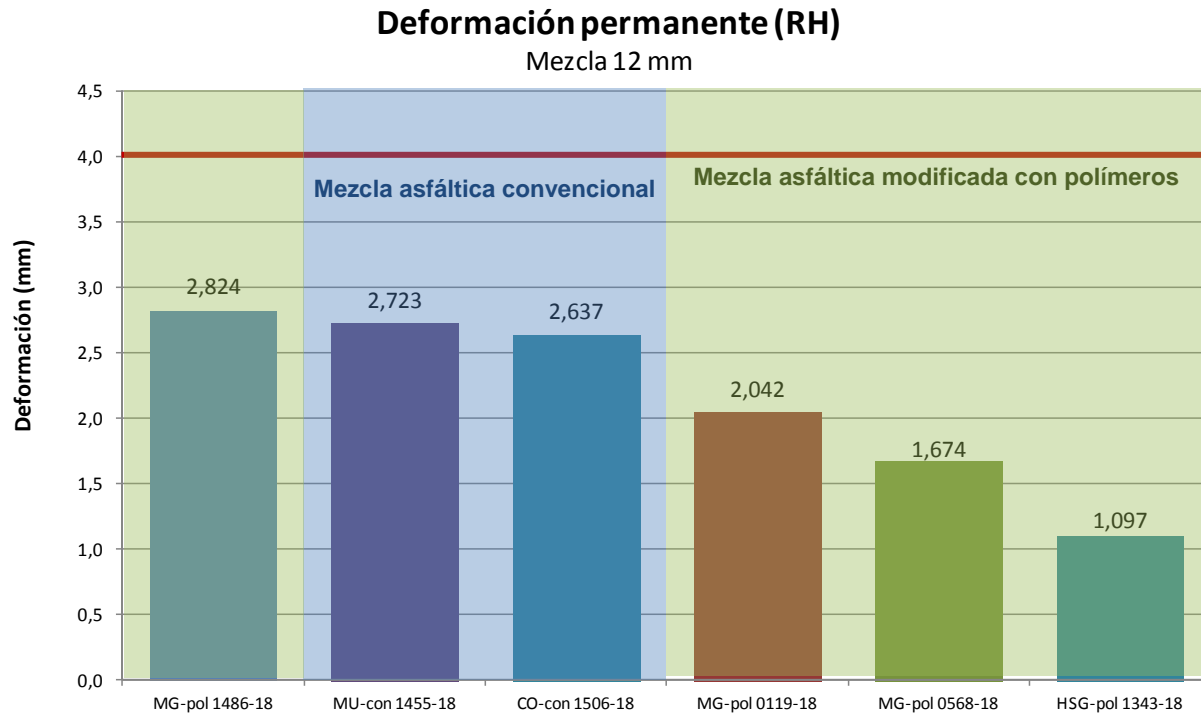


Figura 23. Resultados de Rueda Hamburgo para mezcla de tamaño de 12 mm.



G. Mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm

En cuanto a la mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm los resultados del ensayo de la rueda de Hamburgo se presentan en la Figura 24, en donde se observa que las mezclas convencionales producidas en la planta de MG tienen una deformación mayor (valor promedio de 3,1 mm) en comparación a la de la mezcla modificada producida en MU y MG con un valor promedio de deformación de 1,9 mm. Al contrastar los resultados con otros criterios internacionales, la deformación reportada es sumamente competente.

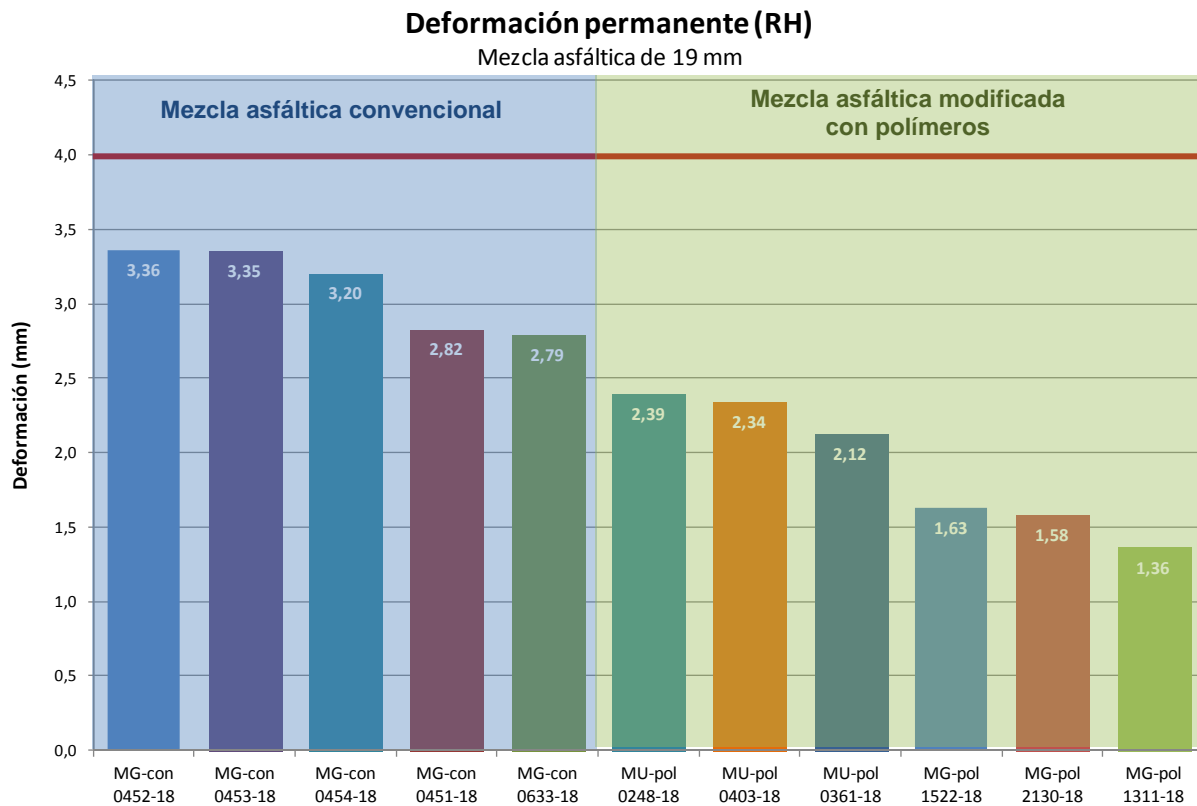


Figura 24. Resultados de Rueda de Hamburgo para mezcla de tamaño de 19 mm.

H. Comparación de ambos tipos de mezcla

Al observar los resultados obtenidos por ambos tipos de mezclas (convencional y modificada) se determina que se consiguen niveles apropiados de deformación plástica para el ensayo de la Rueda de Hamburgo. Al comparar los resultados de deformación en presencia de humedad para el ensayo de la rueda de Hamburgo (Figura 25), se determina



que se observan diferencias entre las mezclas de 12 mm y 19 mm -mayores valores de deformación en la mezcla convencional de 19mm-.

Asimismo, al analizar con mayor detalle los resultados se evidencia que la mezcla modificada con polímero de 19mm (MG) mejora en un 51% el comportamiento a la deformación con relación a la mezcla convencional de 19mm (MG). Inclusive al comparar los resultados con los obtenidos por la mezcla modificada de 12mm (MG) se logra determinar una mejora del 21% respecto a la modificada de 19mm.

Por su parte, la mezcla producida en las planta de MU muestra una menor afectación en la deformación para la mezcla modificada de 19mm, con relación a la mezcla convencional de 12 mm (para una mejora de 16%), tal como se ejemplifica en la Figura 25.

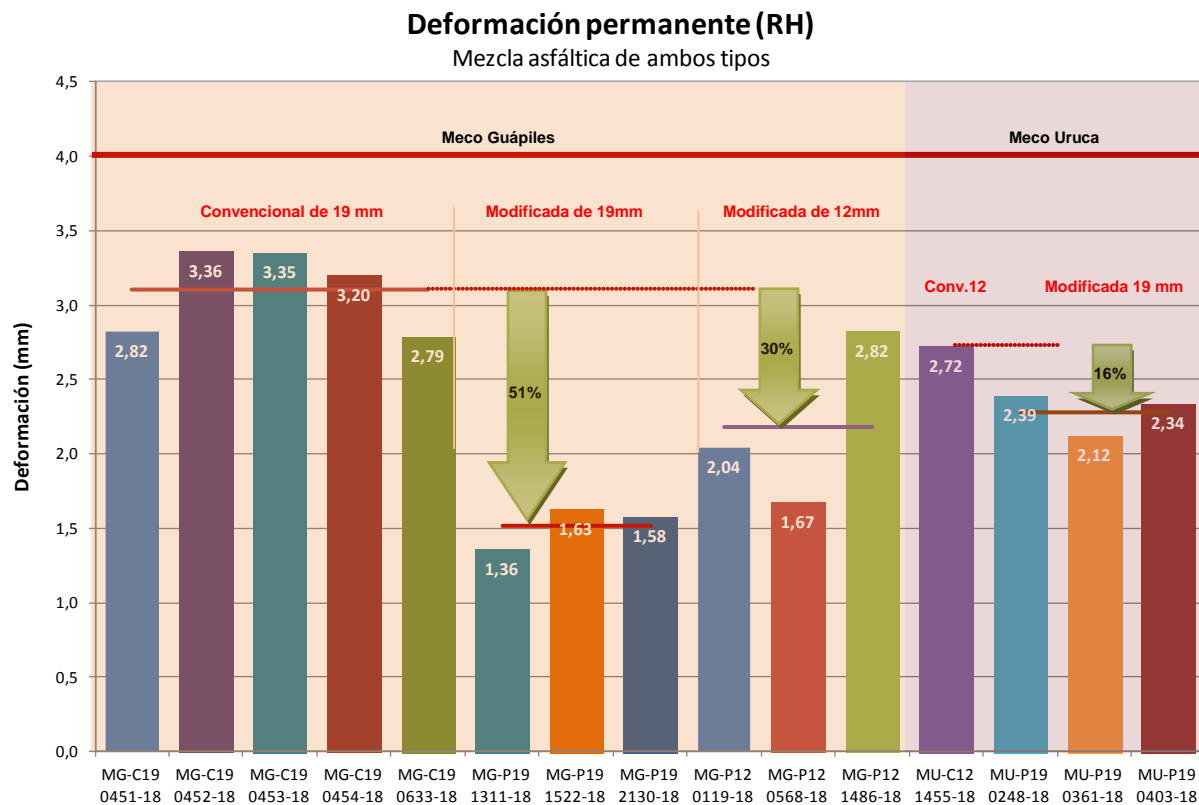


Figura 25. Resultados de Rueda Hamburgo para ambos tipos de mezcla.

SOBRE LA FATIGA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

El agrietamiento por fatiga se define como un fisuramiento longitudinal a lo largo de la zona de contacto entre la llanta del vehículo y el pavimento (rodera o huella), debido al paso

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 45 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



reiterado de cargas de tránsito lo que produce la deflexión de la carpeta produciendo la acumulación del daño por las altas deformaciones a tensión en la parte inferior de esta capa (esfuerzos de tensión), debilitándola continuamente y provocando progresivamente la falla. (Elizondo, F. Jiménez, M. 2013)

Una vez generada la falla tiene implicaciones significativas; a partir de su aparición se presenta un deterioro acelerado de la estructura del pavimento producto del ingreso de la humedad a las distintas capas del pavimento degradando y contaminando los materiales que componen la estructura y finalmente se refleja en la serviciabilidad, el confort, la seguridad y finalmente su vida útil. Este tipo de falla es una de las más comunes en las carreteras de Costa Rica. (Elizondo, F. Jiménez, M. 2013)

OBSERVACIÓN 3. SE DETERMINA QUE ALGUNAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES ANALIZADAS CUMPLEN CON EL REQUISITO QUE SE SOLICITA PARA LA RESISTENCIA A LA FATIGA UTILIZADO COMO REFERENCIA EN EL ANÁLISIS Y ESTABLECIDO EN EL CARTEL DE CONSERVACIÓN VIAL⁷ PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPEÑO.

El ensayo de laboratorio permite estimar la susceptibilidad a la fatiga de una capa del pavimento de MAC que estará sometida a las cargas de tránsito repetitivas, este desempeño se puede predecir ya que existe una relación entre la deformación unitaria a tensión de la parte inferior de una viga de MAC ensayada a flexión y la susceptibilidad a la fatiga.

El ensayo consiste en llevar a la fatiga una viga apoyada en cuatro puntos sometida a flexión pura (AASHTO T321) mediante la aplicación constante de una deformación unitaria a tensión en la fibra inferior de una viga; la fatiga está definida cuando se alcanza el punto de pérdida de un 50 % de la rigidez inicial. Esta relación observada ha sido asociada al comportamiento del pavimento en servicio, debido a que la deformación a tensión en la parte inferior de la capa de concreto asfáltico (ϵ_o) está directamente relacionada con el número de repeticiones de carga (ejes) para la aparición de la grieta en el pavimento.

En el cartel de licitación LICITACIÓN PÚBLICA No.2014LN-000018-0CV00 "MP y R Mantenimiento periódico y rehabilitación del pavimento de la red vial nacional pavimentada" se establece el criterio de fatiga para una mezcla de alto desempeño, al no existir un criterio establecido para mezcla convencional se utiliza -en este estudio- el modelo indicado para cotejar la magnitud que alcanza la mezcla convencional en cuanto al comportamiento a la resistencia a la fatiga considerando capas de rodadura (mezcla Tipo D) tal como se muestra en la Tabla 10.

La especificación para el ensayo de falla por fatiga establece lograr una serie de cargas cíclicas que inducen una deformación unitaria constante (400 μs y 600 μs) en una viga de mezcla asfáltica, tal como se indica en la Tabla 10. Por lo que los puntos establecidos en la

⁷ LICITACIÓN PÚBLICA No.2014LN-000018-0CV00 "MP y R Mantenimiento periódico y rehabilitación del pavimento de la red vial nacional pavimentada"

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 46 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



especificación⁸ se pueden representar como una línea recta en un eje logarítmico (Figura 26.a.), por lo que para considerar que una mezcla satisface los criterios de fatiga debe cumplir con ambos requerimientos o en otras palabras si alguno de los resultados se encuentra por debajo de la línea se considera que no se satisfacen los criterios de fatiga.

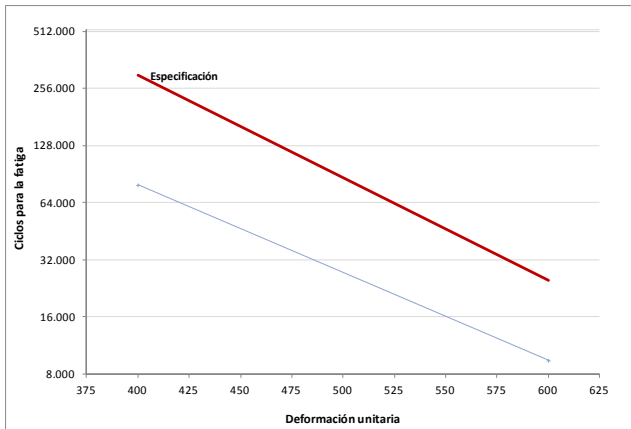
Para complementar este análisis e ilustrar su determinación, se observa que se establece una figura geométrica formada por la línea mencionada y la proyección hasta el eje horizontal para cada una de las deformaciones unitarias requeridas (400 μ s y 600 μ s), tal como se ejemplifica en la Figura 26.b. Por lo que se puede establecer la diferencia entre el área de la figura geométrica formada con la línea de la especificación y el área formada por la línea del resultado del ensayo a la mezcla asfáltica.

Tabla 10. Requisitos de repeticiones para falla por fatiga mezcla asfáltica de método Marshall.

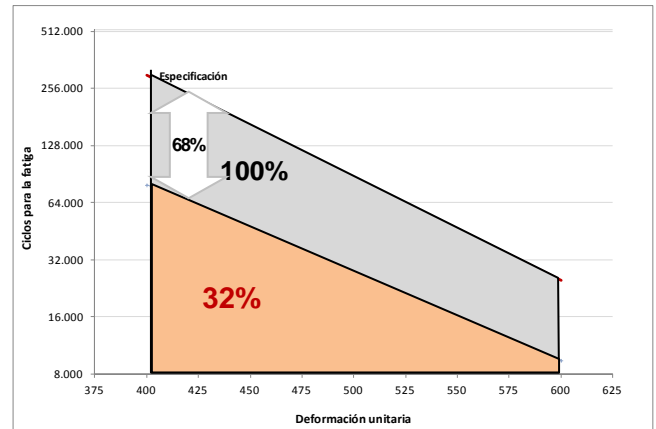
TABLA A				
REQUISITOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS SBR				
Parámetro	Método de ensayo	Requisitos		
		Para usar sobre una base en una sola capa	Designación C	Designación D
Cantidad de repeticiones para la falla por fatiga a 20°C para un nivel de deformación unitaria controlada de:	AASHTO T 321			
400E-6 mm/mm		$\geq 450\ 000$	$\geq 450\ 000$	$\geq 300\ 000$
600 E-6 mm/mm		$\geq 50\ 000$	$\geq 50\ 000$	$\geq 30\ 000$

El plano de la especificación (Figura 8.b. sombreado gris) establece una magnitud del área que se considera el 100%. La figura formada por el resultado de ensayo (figura naranja) establece una correspondencia de "lo que le falta" a la mezcla convencional con relación a la especificación de referencia, lo que se representa con la flecha que en este caso sería un 68%. Por lo tanto, la ubicación de los resultados del ensayo (número de ciclos para la falla para ambas deformaciones) es el área de proporción (32%) con respecto a la especificación (triángulo naranja).

⁸Alcanzar 300.000 repeticiones para una deformación de 400 μ s ó 30.000 repeticiones para una deformación de 600 μ s



a.



b.

Figura 26. Área de la figura geométrica formada por la especificación de fatiga.

I. Mezcla asfáltica de tamaño de 12,5 mm

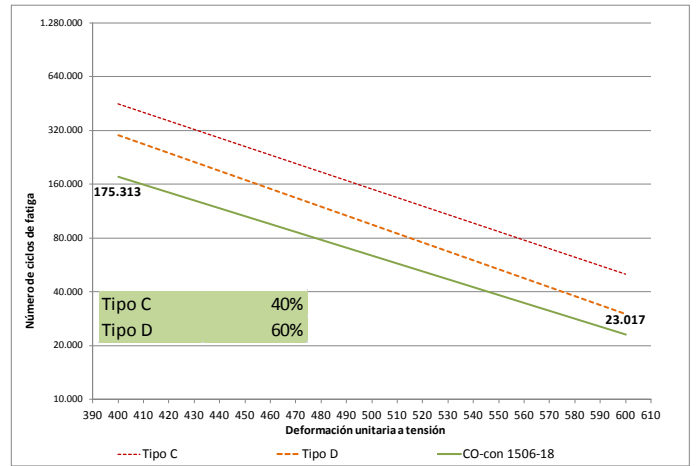
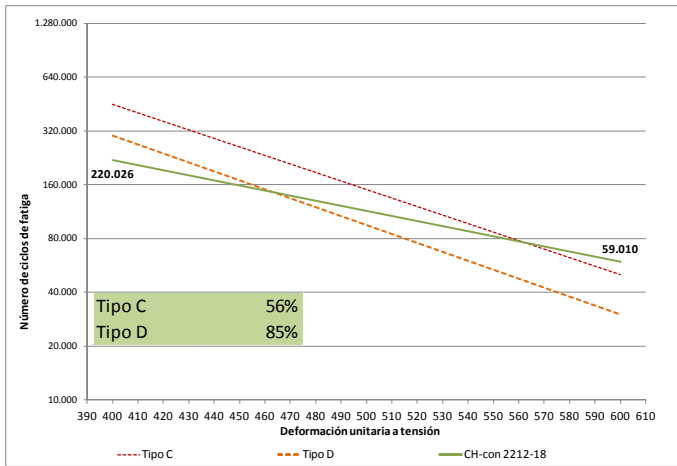
Del análisis de los resultados del ensayo a fatiga para la mezcla asfáltica de tamaño 12 mm, para ambos tipos (convencional y modificada) se determina que el 65% de los valores individuales (7 de 20) se mantienen por debajo de los requisitos de la especificación establecida para una capa de rodadura, tal como se presenta en las gráficas a, b, c, d, e, f y g de la Figura 28 y Figura 28.

Se observa que para cumplir ambos requisitos de resistencia a la fatiga la mezcla de CH convencional requeriría aumentar su capacidad de soporte en una magnitud aproximada del 35% (en la deformación de 400 μ s). Por su parte, las restantes plantas CO, HSG y MU determinan una reducción en la capacidad de resistir fatiga, en aproximadamente un 60%.

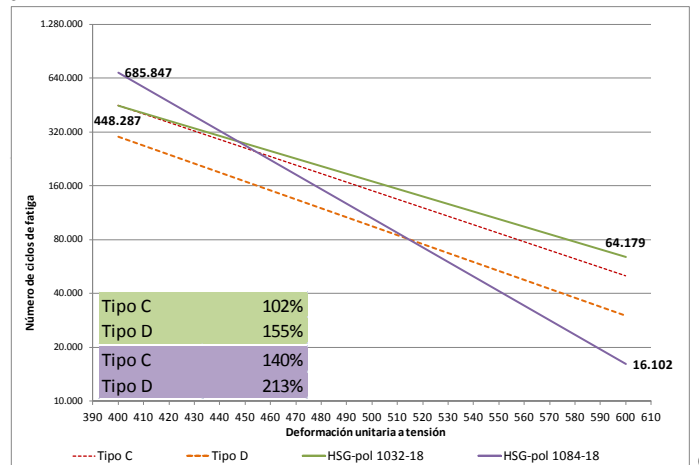
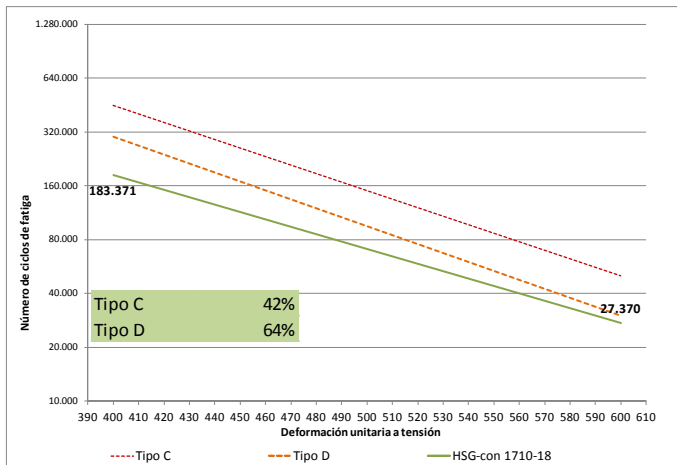
En cuanto a la mezcla modificada con polímero solamente una muestra de HSG satisface ambos requisitos. En tanto otras dos muestras HSG y dos muestras MG no cumplen con la especificación señalada para la deformación de 600 μ s (por lo que se considera que esta mezcla no satisface ambos requisitos de deterioro a la fatiga) solamente cumplen con la especificación de la deformación de 400 μ s.

La mayoría de estos resultados obtenidos, en particular de la mezcla convencional; demuestran una manifiesta susceptibilidad a la fatiga del material lo cual podría incidir en la reducción de la vida útil de las carpetas asfálticas colocadas en los proyectos de conservación vial.

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 48 de 68
-------------------------	-------------	-----------------

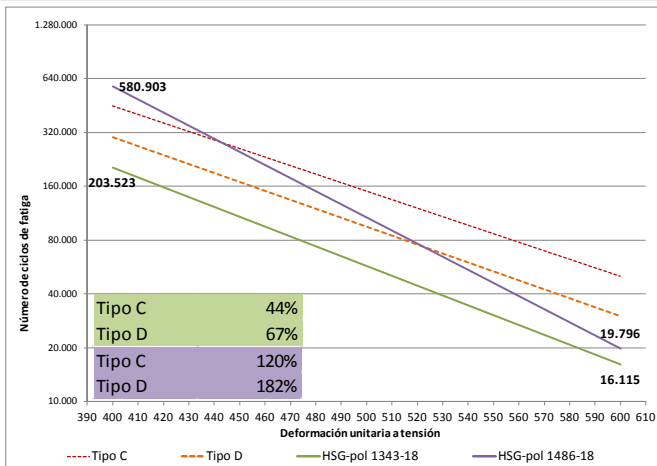


a. b.

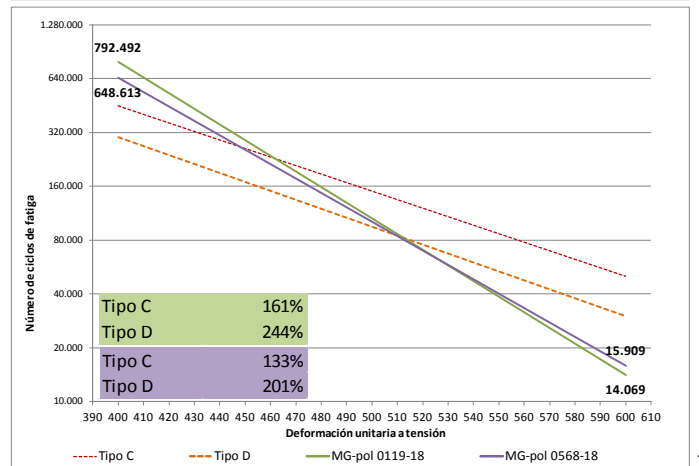


c.

d.



e.



f.

Figura 27. Resultados del ensayo de fatiga para la mezcla de 12,5 mm.

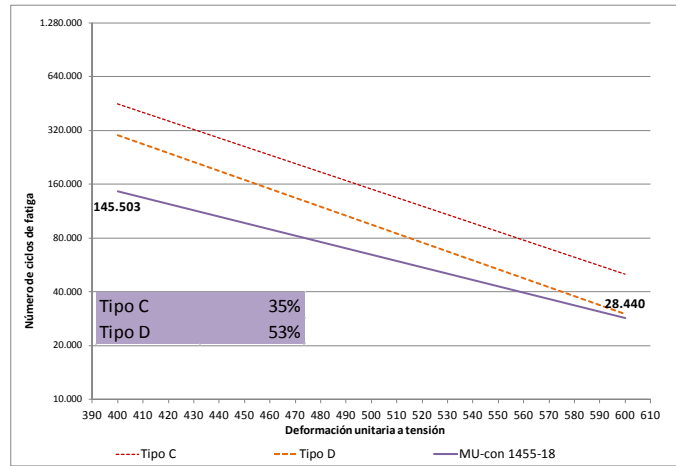


Figura 28(cont). Resultados del ensayo de fatiga para la mezcla de 12,5 mm. g.

J. Mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm

Respecto a los resultados de capacidad de resistir fatiga obtenidos para ambos tipos de mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm, se evidencia que el 64% de los resultados (18 de 28) se encuentran por debajo de los requisitos de la especificación establecida.

No obstante, se denota que dos de las mezclas convencionales producidas en la planta de MG (Figura 30b. y c.) demuestran tener un comportamiento a la resistencia a la fatiga bastante cercano a los requisitos establecidos en la normativa de referencia, tanto así que tan solo con proporcionarle una resistencia adicional entre 10% a 30% en la deformación de 600 cumplirían con la especificación. Se debe recalcar que estas mezclas son producidas con asfalto convencional y que de acuerdo con los resultados de la relación polvo asfalto relacionada con estas mezclas se tiene una baja cantidad de asfalto efectivo. Las restantes mezclas de las plantas HSA, MG, QS y MRC mantienen valores inferiores a los utilizados como referencia en este estudio.

Por su parte, se denota que las mezclas producidas con asfalto modificado con polímero de la planta de MU (Figura 30e.) cumplen con ambos valores de la especificación de referencia de fatiga. Sin embargo, las muestras de la planta de MG no satisfacen ambos criterios, tal como se observa en la Figura 30d.

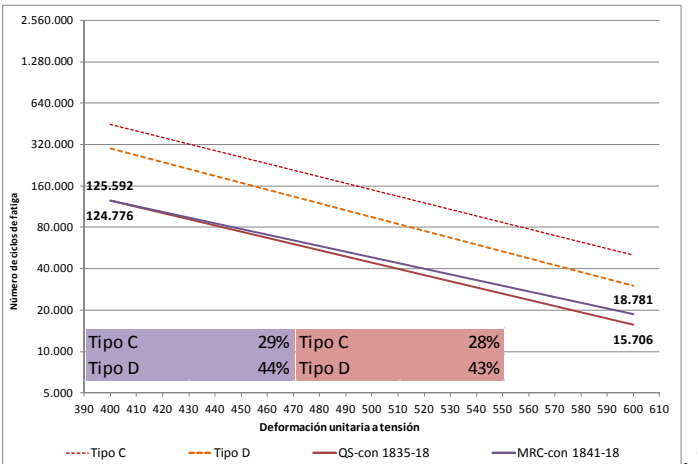
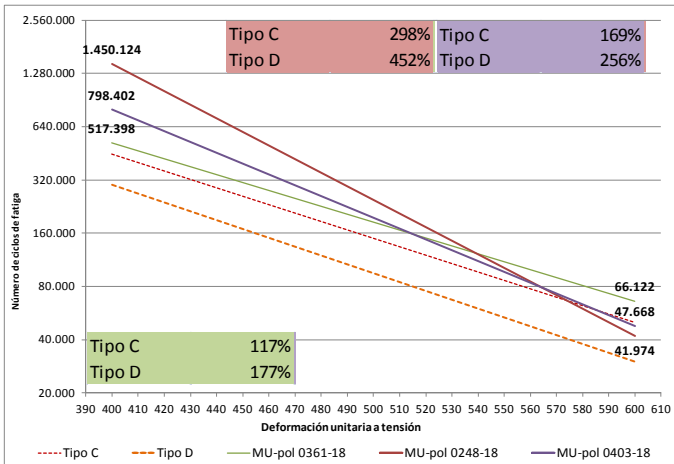
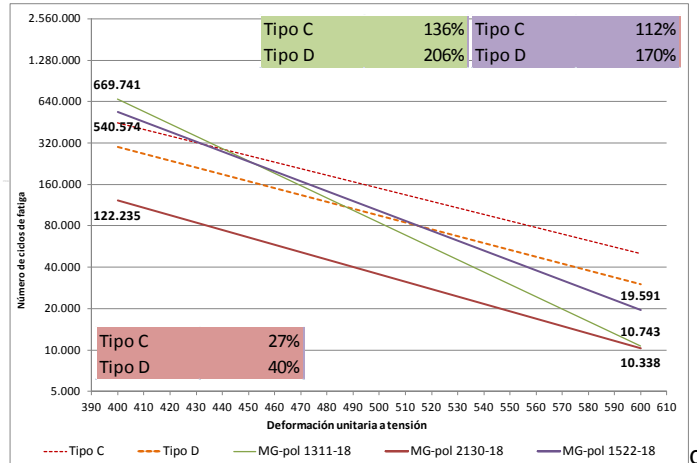
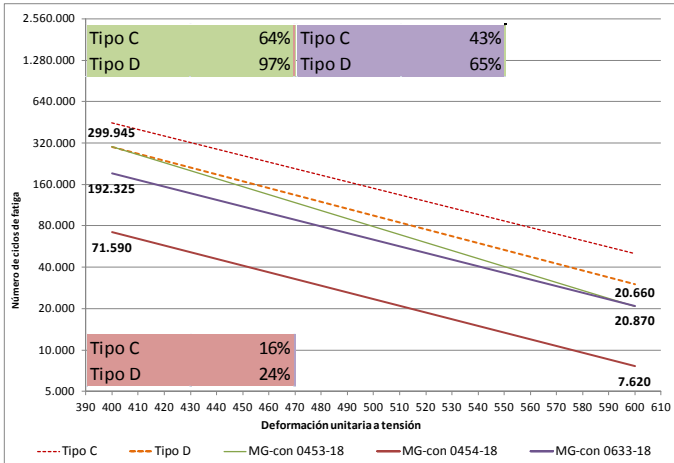
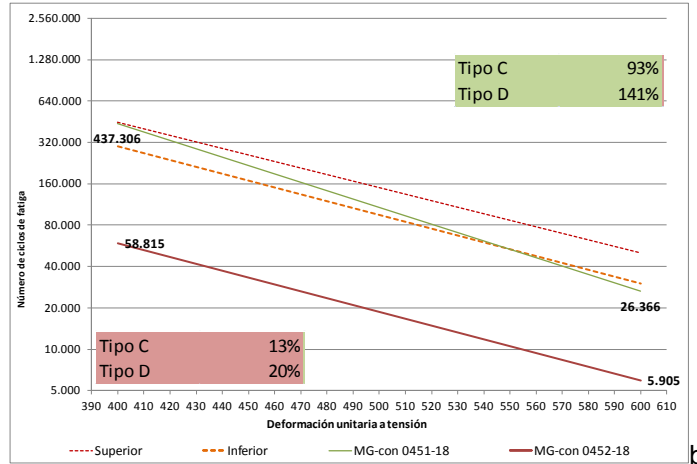
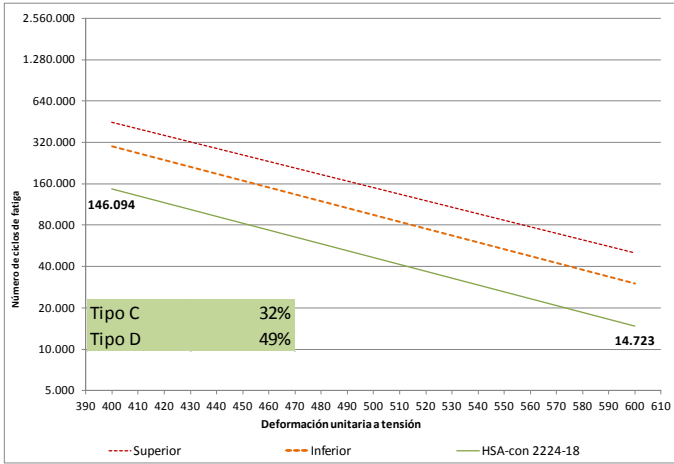


Figura 29. Resultados del ensayo de fatiga para la mezcla de 19 mm.



SOBRE EL FLOW NUMBER DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

La deformación en la carpeta asfáltica es causada principalmente por la repetición de cargas de tráfico que condujeron a deformaciones permanentes del pavimento. La acumulación de las deformaciones da como resultado un desarrollo progresivo de formación de roderas.

Las metodologías de diseño de mezcla no contienen un método directo para evaluar la resistencia a la deformación permanente de las mezclas asfálticas. Esta limitación ha promovido a utilizar un parámetro indicador de resistencia de deformación, llamado Flow Number (número de flujo). El número de flujo es una alternativa al ensayo de módulo dinámico para evaluar la resistencia a la deformación (roderas).

Este parámetro se puede medir a través de un ensayo de deformación permanente con carga repetida. De hecho, el Flow Number denota el número de ciclos después de los cuales el asfalto experimenta la deformación. El Flow Number se ha relacionado con la resistencia a la rotura de HMA, a medida que aumenta el número de flujo, también aumenta la resistencia a la deformación.

En este ensayo, una muestra de la mezcla de HMA a alta temperatura se somete a un impulso repetido de esfuerzo de compresión. Esta carga repetida produce tensión permanente en la muestra, que se registra para cada ciclo de carga. El punto en la curva de deformación permanente donde la tasa de acumulación de deformación permanente alcanza un valor mínimo, se ha definido como el Flow Number.

OBSERVACIÓN 4. SE EVIDENCIA QUE LA MAYORÍA DE LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA FABRICADAS EN LAS PLANTAS PRODUCTORAS, PARA AMBOS TIPOS DE MEZCLA (CONVENCIONAL Y MODIFICADA) CON AMBOS TAMAÑOS DE AGREGADOS (12 MM Y 19 MM) CUMPLEN CON EL VALOR MÍNIMO DE FLOW NUMBER.

Hay tres ensayos fundamentales para determinar la resistencia a la rodadura: el módulo dinámico (a veces denominado prueba E^*), la prueba de carga repetida (también llamada prueba de número de flujo) y la prueba de tiempo de flujo.

En la prueba del número de flujo, se aplica una carga de 600 kPa a la muestra cada segundo, hasta que se alcanza el punto de flujo. El punto de flujo representa la falla de la muestra, como lo demuestra la tasa creciente de tensión permanente total durante la prueba. Las pruebas de número de flujo se realizan a la temperatura de pavimento máxima promedio de 7 días y a 20 mm por debajo de la superficie.

Se utiliza como valor de referencia los requerimientos mínimos recomendados de valor de número de flujo (Flow Number) para un nivel de tránsito intermedio (tránsito entre 10 a 30

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 52 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



millones de ESALS), indicados en el "Manual de Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente" publicado en el reporte NCHRP673 por la National Cooperative Highway Research Program, donde se establece un valor de 190 ciclos para los requisitos por rango de cantidad de tránsito esperado, tal como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Requisitos de ciclos para falla para el criterio de Flow Number.

Nivel de Tránsito Esperado (millones de ESALS)	Mínimo Número de Flujo (Flow Number) (Ciclos)
<3	---
3 a <10	53
10 a <30	190
≥ 30	740

K. Mezcla asfáltica de tamaño de 12,5 mm

Los resultados de ensayo de Flow Number (número de flujo) presentados en la Figura 30, muestran que la mezcla asfáltica modificada con polímero de la planta HSG tiene una resistencia mayor, de aproximadamente 26 veces el valor mínimo requerido por la normativa de referencia utilizada. En tanto las muestras de la mezcla asfáltica convencional producida en CH y HSG solamente alcanzan un 1,2 y un 0,9 de la cantidad de ciclos estipulados en la normativa de referencia.

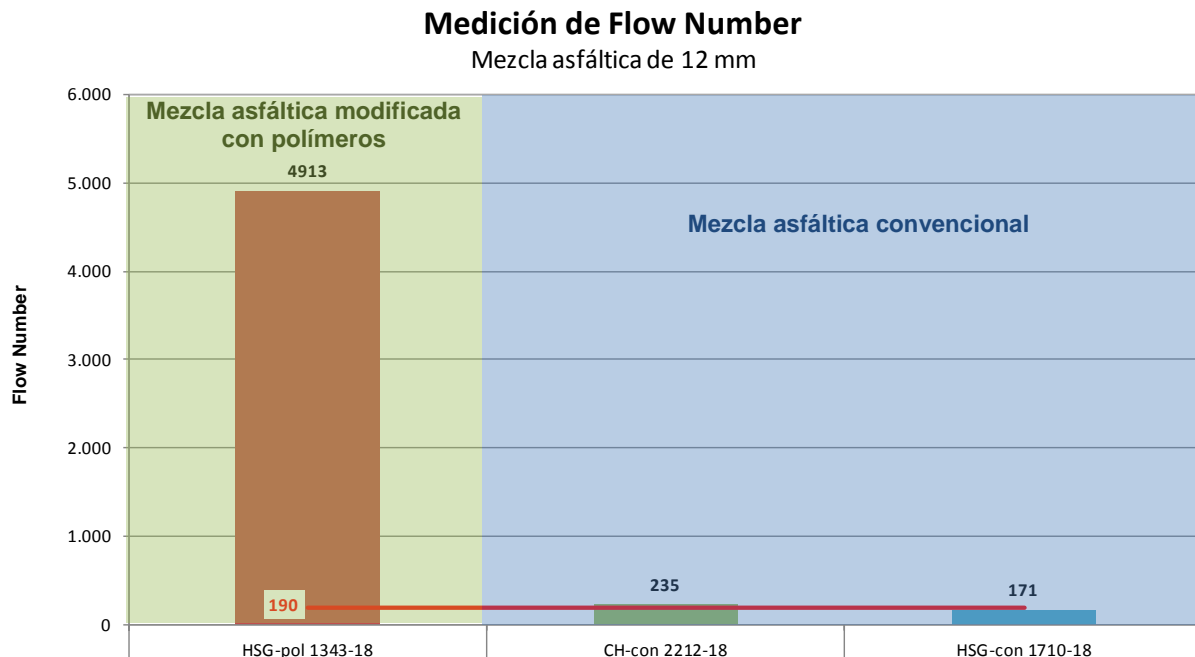


Figura 30. Módulo dinámico de la mezcla asfáltica de tamaño de 12 mm.



Valores menores al establecido en la referencia representan carpetas asfálticas susceptibles a la deformación permanente de la mezcla asfáltica.

L. Mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm

Una situación similar se observa en los resultados de ensayo de la mezcla de 19 mm con relación al Flow Number (Figura 31), ya que se evidencia que la mezcla producida con polímero de la planta MG tiene una capacidad de soportar 30 veces más la cantidad mínima de ciclos indicados en los requisitos de referencia. Igual comportamiento se observa en las mezclas convencionales de la planta HSA y modificada de la planta MG, las cuales muestran una capacidad de soporte de 6 y 3 veces, respectivamente, más la cantidad mínima de ciclos indicados en los requisitos de referencia.

Sin embargo, las dos de las muestras de mezcla asfáltica convencional (plantas MRC y QS) alcanzan un 100% y 91% de la capacidad para soportar la cantidad de ciclos mínima establecida, para no ser consideradas mezclas susceptibles a la deformación permanente de la carpeta de rueda.

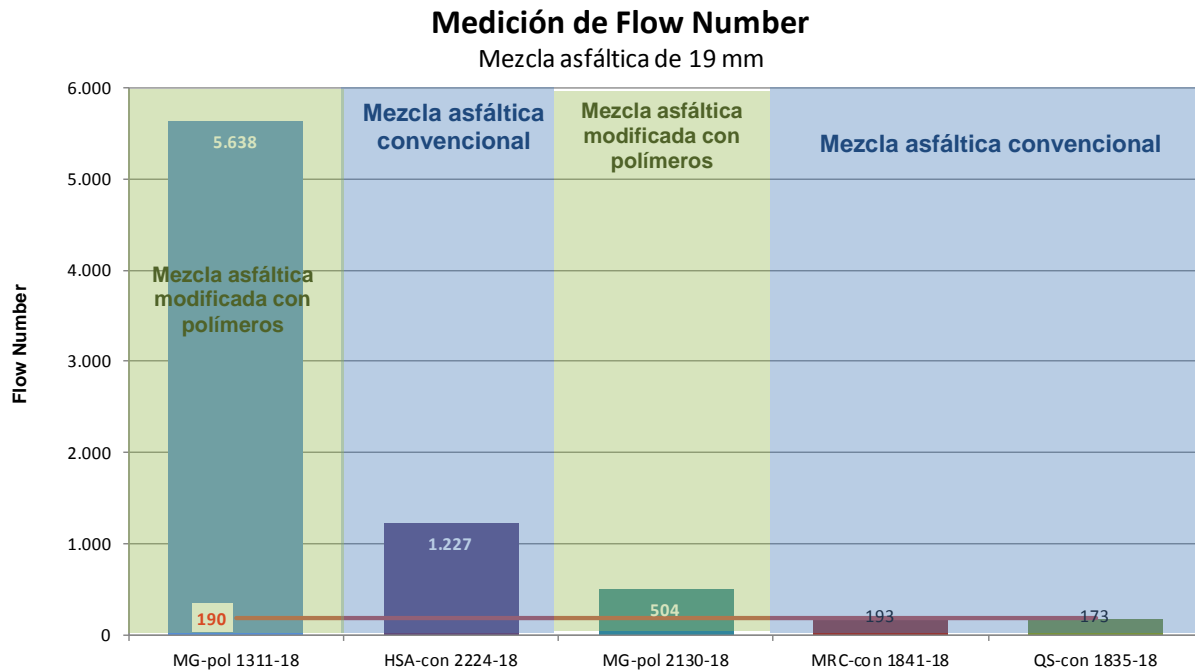


Figura 31. Módulo dinámico de la mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm.



11.3. SOBRE LA CONSISTENCIA DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA VIGENTE DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO

HALLAZGO 3. LOS DISEÑOS DE MEZCLA UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA, PARA EL PERIODO DE ESTUDIO, TIENDEN A MOSTRAR ALGÚN INCUMPLIMIENTO DE LOS PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE DISEÑO (% VACÍOS, VFA Y RELACIÓN P/A) EN EL RANGO DE CONTENIDO DE ASFALTO (% ÓPTIMO \pm 0,5%) PROPUESTO PARA LA PRODUCCIÓN.

La metodología de diseño de mezcla asfáltica tiene como finalidad fundamental encontrar la combinación adecuada de agregados minerales y cemento asfáltico, que permita brindarle a la mezcla asfáltica resultante una serie de características físicas y de resistencia que se establecen tanto en los requisitos contractuales de calidad, como en el diseño de la mezcla asfáltica.

La sección 4 "Especificación Especial de Mezcla Asfáltica en Caliente elaborada por el diseño Marshall" de la licitación pública 2014LN-000018-0CV00 define los requisitos que cuantifican la calidad de la mezcla asfáltica a través de la definición de valores límites de algunos parámetros específicos para la mezcla asfáltica, tanto de la metodología Marshall y de características volumétricas, a saber: contenido de vacíos de la mezcla, estabilidad, flujo, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto⁹ (VFA), correspondientes de la metodología Marshall y el parámetro volumétrico de la relación polvo/asfalto. En la **Tabla 12** se detallan los valores requeridos en las especificaciones contractuales para cada uno de los parámetros señalados.

Tabla 12. Especificación de parámetros según el método Marshall

Parámetro	Especificaciones
Estabilidad	Mínimo 800 kg
Flujo	20 a 35 $1/100$ cm
Vacíos en la mezcla	3% a 5%
Relación polvo/asfalto	0,6 a 1,3 %
Vacíos en agregado mineral (VAM)	Mínimo 14%
Vacíos llenos de asfalto (VFA) <i>Superior o igual a 3 millones de ejes equivalentes</i>	65% a 75%

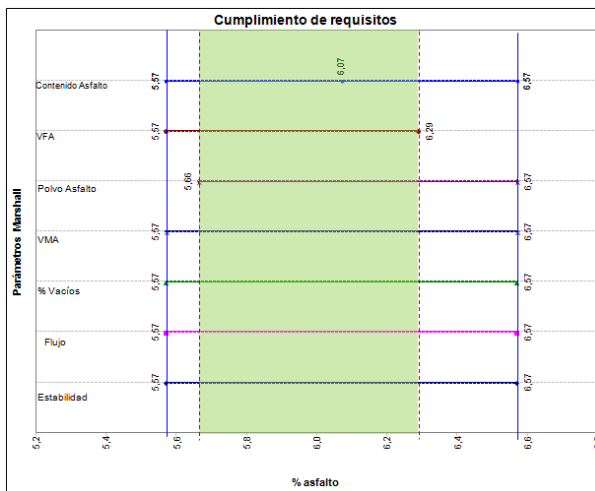
⁹ Se analiza el rango de especificación definido para un nivel de tránsito mayor a 3 millones de ejes equivalente de 65% a 75%.



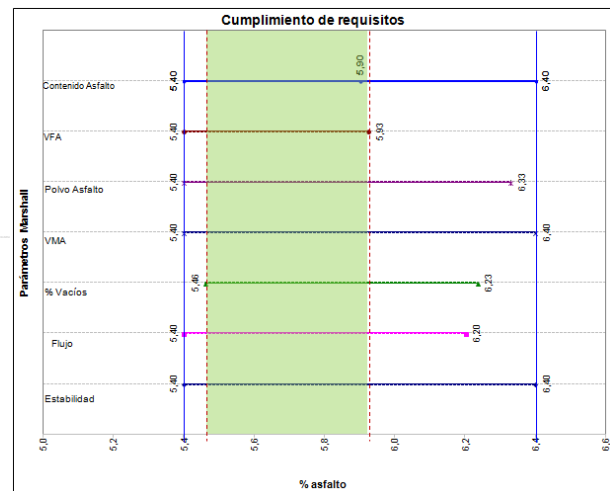
A. MEZCLA ASFÁLTICA DE TAMAÑO DE 12 MM

Se realiza el análisis para cada uno de los diseños de mezcla vigentes para cada una de las plantas de producción de mezcla asfáltica para un tamaño de agregado de 12,5 mm, que se encontraban vigentes durante el periodo de estudio.

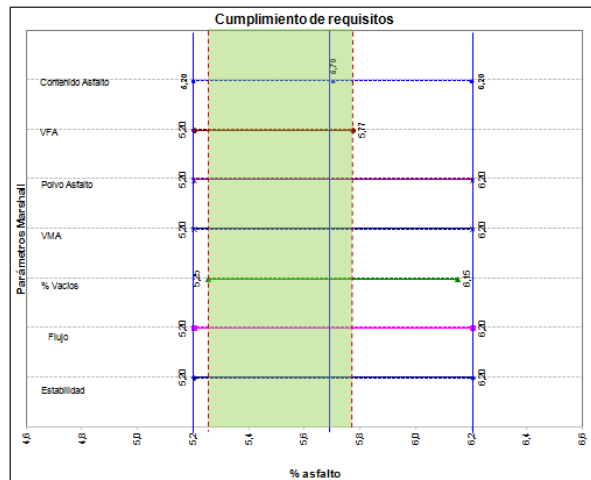
Además, se realiza un análisis gráfico de los resultados obtenidos aplicando la metodología Marshall, presentando en cada una de las gráficas (Figura 32) el cumplimiento para cada uno de los parámetros, así como el incumplimiento con relación a alguno de los límites del rango especificado.



Hernán Solís, Guápiles
(OJM 053.2018)



Meco, Bagaces
(ITP 412.2018)



Meco, Uruca
(ITP 1203.2017)



Figura 32. Análisis gráfico del rango efectivo de contenido de asfalto para mezcla de 12,5 mm.

De cada una de las gráficas presentadas en la Figura 32 se denota que uno de los parámetros que restringe el ámbito de asfalto (contenido óptimo $\pm 0,5\%$) son los vacíos llenos de asfalto (VFA) y que es predominante para los 3 diseños analizados. Otros parámetros restrictivos del ámbito de asfalto son el contenido de vacíos y la relación polvo asfalto.

Un resumen de los resultados de dicho análisis, para cada uno de los diseños indicados se detalla en la Tabla 13, en donde se señala la restricción máxima del rango de contenido de asfalto, el porcentaje de variación para el contenido óptimo y el nuevo rango de contenido de asfalto disponible que garantizaría el cumplimiento de la totalidad de los parámetros establecidos con los valores indicados en las especificaciones contractuales.

Tabla 13. Análisis del rango efectivo de contenido de asfalto para mezcla de 12,5 mm de los informes de cada una de las plantas de estudio

Planta	Óptimo $\pm 0,5\%$ Rango Diseño	Parámetro						Disminución del rango efectivo			Óptimo ajustado	Rango Centrado
		Estab	Flujo	Vacios	VMA	VFA	P/A	Rango	% disminuido	% disponible		
Hernán Solís, Guápiles (OJM 053.2018)	5,57% a 6,57% (6,07 $\pm 0,5\%$)	✓	✓	✓	✓	* (s)	⇄ (i)	5,66% a 6,29%	28%	72%	6,07 $\pm 0,22\%$	5,98 $\pm 0,32\%$
Meco, Bagaces (ITP 412.2018)	5,4% a 6,4% (5,9 $\pm 0,5\%$)	✓	⇄ (s)	⇄ (i,s)	✓	* (s)	✓	5,46% a 5,93%	54%	46%	5,90$\pm 0,03\%$	5,74 $\pm 0,19\%$
Meco, Uruca (ITP 1203.2017)	5,2% a 6,2% (5,70 $\pm 0,5\%$)	✓	✓	⇄ (i,s)	✓	* (s)	✓	5,25% a 5,77%	48%	52%	5,70$\pm 0,07\%$	5,51 $\pm 0,26\%$
Porcentaje de casos		0%	33.3%	66.7%	0%	100%	33.3%	-	-	-	-	-

✓ Cumple en el rango de diseño.

⇄ (i, s) Reduce el rango de diseño, en el límite inferior(i) o superior(s), para cumplimiento de este parámetro.

* Parámetro que tiene mayor afectación en la reducción del rango de diseño.

Los números en color rojo evidencian que aún en el contenido óptimo de asfalto existe un alto riesgo de incumplimiento.

Del resumen de los resultados se determina que los parámetros que presenta algún grado de incumplimiento en el rango de diseño (óptimo $\pm 0,5\%$) son en un 33% de los diseños los parámetros de flujo y polvo asfalto, en un 66% de los diseños el contenido de vacíos y en el 100% de los diseños parámetro de VFA, como se indicó anteriormente. Esto provoca que el rango de asfalto efectivo se vea reducido desde un 28% hasta un 54%, disponiendo de un margen efectivo de contenido de asfalto menor al indicado como óptimo en cada uno de los diseños de mezcla.

Además, en dos de los diseños, el límite superior de incumplimiento se ubica a tan solo un 3% y a un 7% del valor de asfalto determinado como óptimo, por lo que cualquier variabilidad ordinaria del proceso productivo podría producir resultados insatisfactorios. Y variaciones mayores a las indicadas en el contenido de asfalto, podrían inducir al parámetro VFA a presentar valores cercanos al 80% (como se observa en la Figura 33) en donde se considera

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 57 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



un valor alarmante para la mezcla asfáltica, ya que se vuelve inestable. Esto se vio reflejado en los resultados de la volumetría de la MAC indicados en la sección "Sobre los parámetros de calidad de la mezcla asfáltica producida".

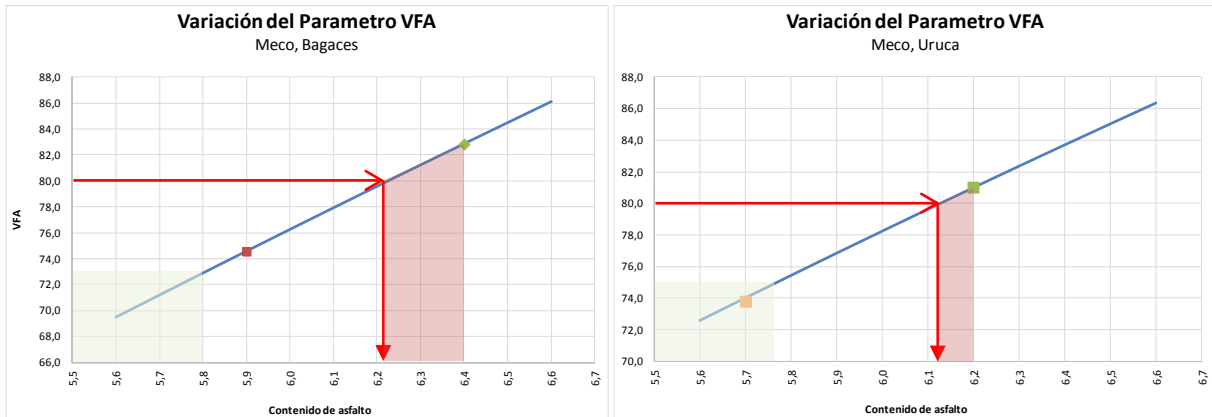


Figura 33. Variación del parámetro VFA con relación al aumento en el contenido de asfalto.

Al analizar el comportamiento de los parámetros Marshall (Figura 34) en los diseños de mezcla tipo 12 mm, se denota que la característica que es más difícil de cumplir es el parámetro de VFA, ya que contribuye con un área de 111% acumulada de incumplimiento (suma de área roja sombreada).

La siguiente característica que demuestra dificultades de ser cumplida es el contenido de vacíos, debido a que determina un 52% de área de incumplimiento acumulada.

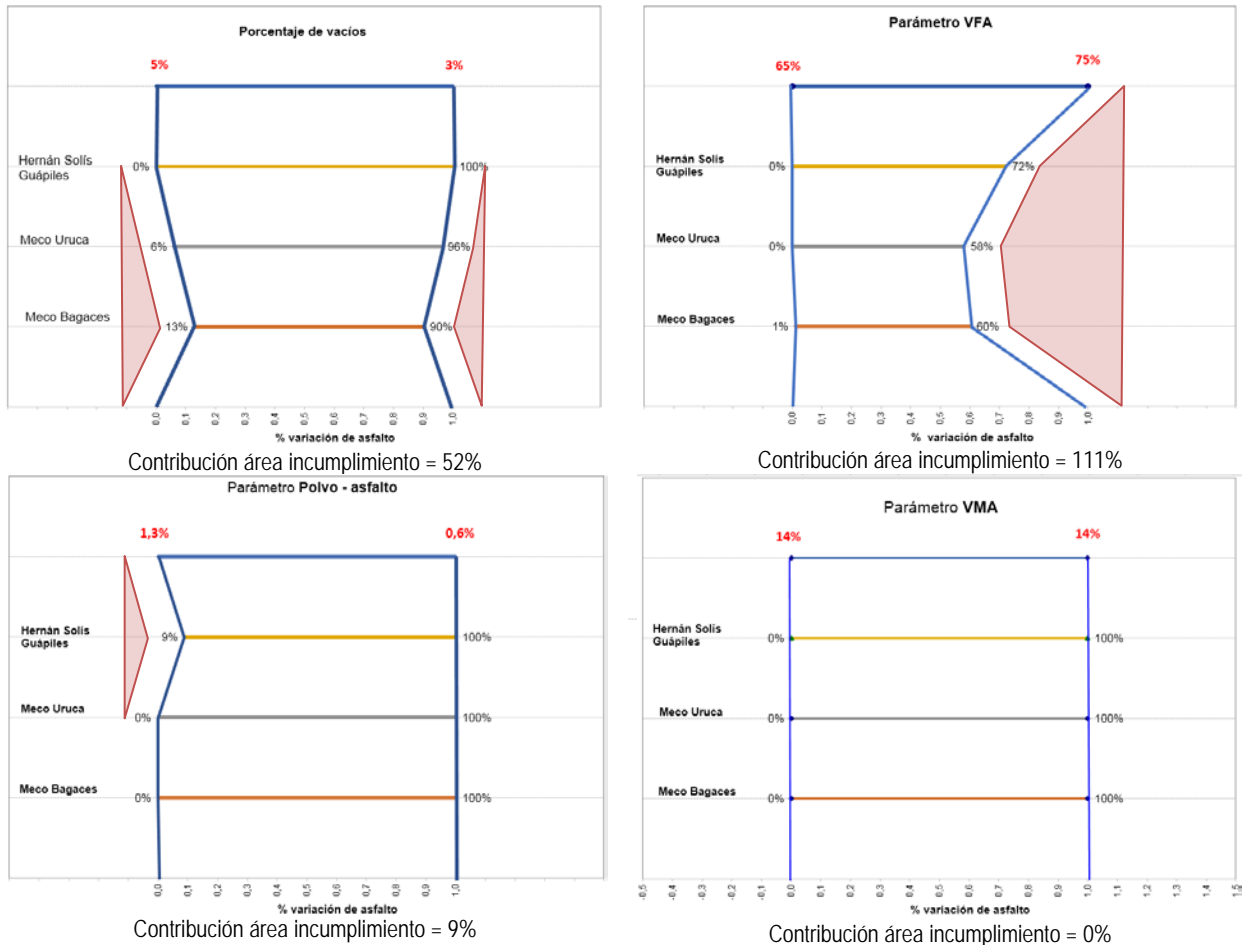
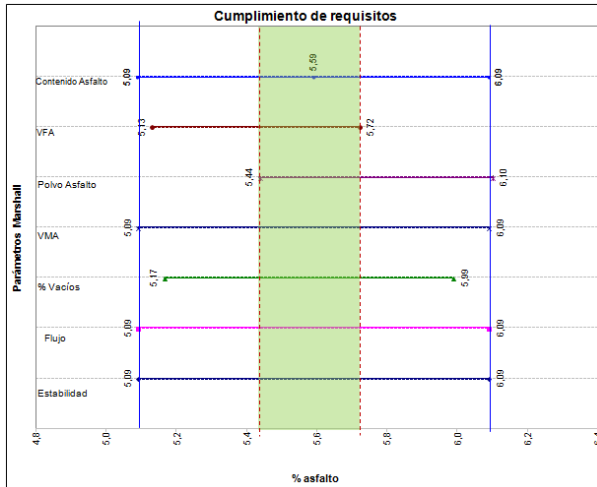


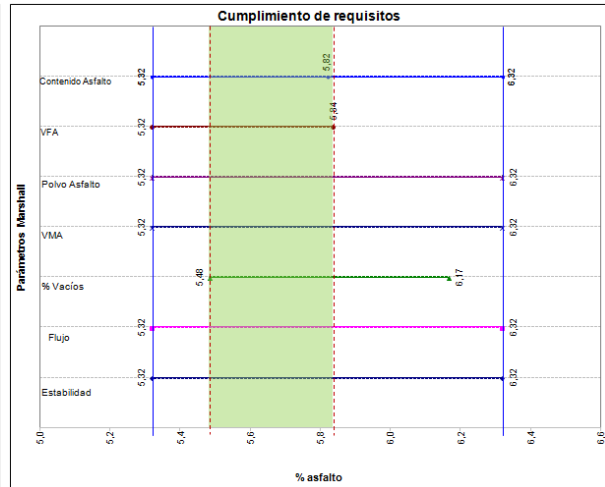
Figura 34. Análisis gráfico del rango efectivo de contenido de asfalto para mezcla de 12 mm.

B. MEZCLA ASFÁLTICA DE TAMAÑO DE 19 MM

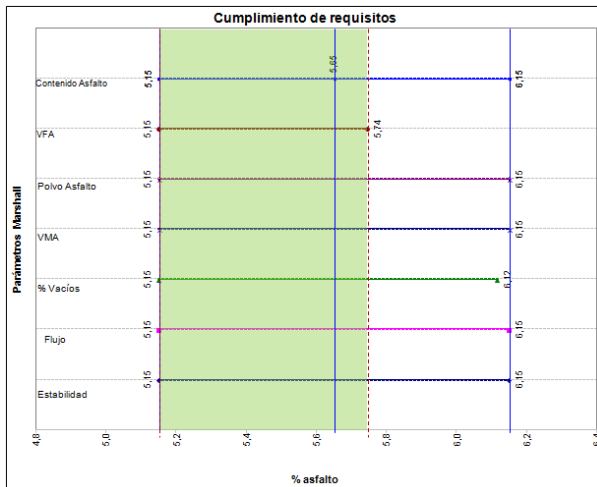
Con relación a la mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm se observa un comportamiento similar al mostrado por la mezcla de 12mm, ya que el parámetro de VFA es también el factor dominante en la restricción del contenido de asfalto en todos los diseños de mezcla. Los siguientes parámetros que inciden en esta restricción son el contenido de asfalto y la relación polvo asfalto. Se denota que en uno de los diseños se presenta una restricción muy cercana al óptimo de asfalto.



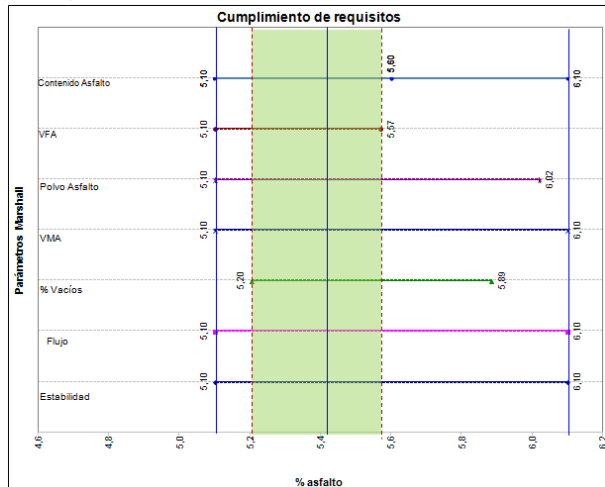
Hernán Solís, Abangares (LGC-1208-2018)



Meco, Guápiles (ITP 868.2017)



Meco, Río Claro (ITP 638.2018)



Quebradores del Sur (LIM 354.2018)

Figura 35. Análisis gráfico del rango efectivo de contenido de asfalto para mezcla de 19 mm.

En la **Tabla 14** se realiza un resumen de análisis de rango efectivo para el contenido de asfalto realizado para cada uno de los diseños de mezcla vigentes para un tamaño de agregado de 19 mm, durante el periodo de estudio, que se habían presentado para cada una de las plantas incluidas en el mismo.



Tabla 14. Análisis del rango efectivo de contenido de asfalto para mezcla de 19 mm de los informes de cada una de las plantas de estudio

Planta	Óptimo \pm 0.5%	Parámetro						Disminución del rango efectivo			Óptimo ajustado	Rango Centrado
	Rango Diseño	Estab	Flujo	Vacíos	VMA	VFA	P/A	Rango	% disminuido	% disponible		
Hernán Solís, Abangares (LGC-1208-2018)	5,10% a 6,10% (5,60 \pm 0.5%)	✓	✓	∓ (i,s)	✓	* (i,s)	∓ (i)	5,44% a 5,72%	72%	28%	5,60 \pm 0,14%	5,58 \pm 0,14%
Meco, Guápiles (ITP 868.2017)	5,30% a 6,30% (5,80 \pm 0.5%)	✓	✓	∓ (i,s)	✓	* (s)	✓	5,48% a 5,84%	65%	35%	5,80\pm0,04%	5,66 \pm 0,18%
Meco, Río Claro (ITP 638.2018)	5,15% a 6,15% (5,65 \pm 0.5%)	✓	✓	∓ (s)	✓	* (s)	✓	5,15% a 5,74%	41%	59%	5,65\pm0,09%	5,45 \pm 0,23%
Quebradores del Sur (LIM 354.2018)	5,10% a 6,10% (5,60 \pm 0.5%)	✓	✓	∓ (i,s)	✓	* (i,s)	✓	5,20% a 5,57%	64%	36%	5,60-0,03%	5,39 \pm 0,19%
Porcentaje de casos		0%	0%	100%	0%	100%	25%					

✓ Cumple en el rango de diseño.

∓ (i, s) Reduce el rango de diseño, en el límite inferior(i) o superior(s), para cumplimiento de este parámetro.

* Parámetro que tiene mayor afectación en la reducción del rango de diseño.

Los números en color rojo evidencian que aún en el contenido óptimo de asfalto existe un alto riesgo de incumplimiento.

▼ Indica que el porcentaje de asfalto óptimo de diseño no es contenido dentro del rango de cumplimiento de requisitos obtenidos.

Para estos diseños de mezcla de 19 mm se observa que en tres de los diseños muestran restricciones importantes en magnitudes de 64%, 65% y 72% al ámbito total sugerido en el diseño de mezcla. Además, el cumplimiento de todos los parámetros requeridos en la especificación se produce en una variación pequeña del contenido óptimo de asfalto, incluso en uno de ellos, en el contenido óptimo de asfalto se produce el incumplimiento en el parámetro de VFA.



A partir de un comparación gráfica se determina que los parámetros que producen mayores restricciones en todos los diseños de mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm son el parámetro de VFA y el porcentaje de vacíos, tal como se muestra en la Figura 36. El parámetro VFA es el que muestra mayor complejidad para el cumplimiento de la especificación, ya que determina un área contributiva de incumplimiento de una magnitud total de 175% (suma del área sombreada de rojo de la Figura 36). Por su parte, el porcentaje de vacíos muestra la segunda magnitud de área contributiva acumulada en este tipo de diseños, mostrando asimismo un nivel de complejidad en el cumplimiento de dicho parámetro.

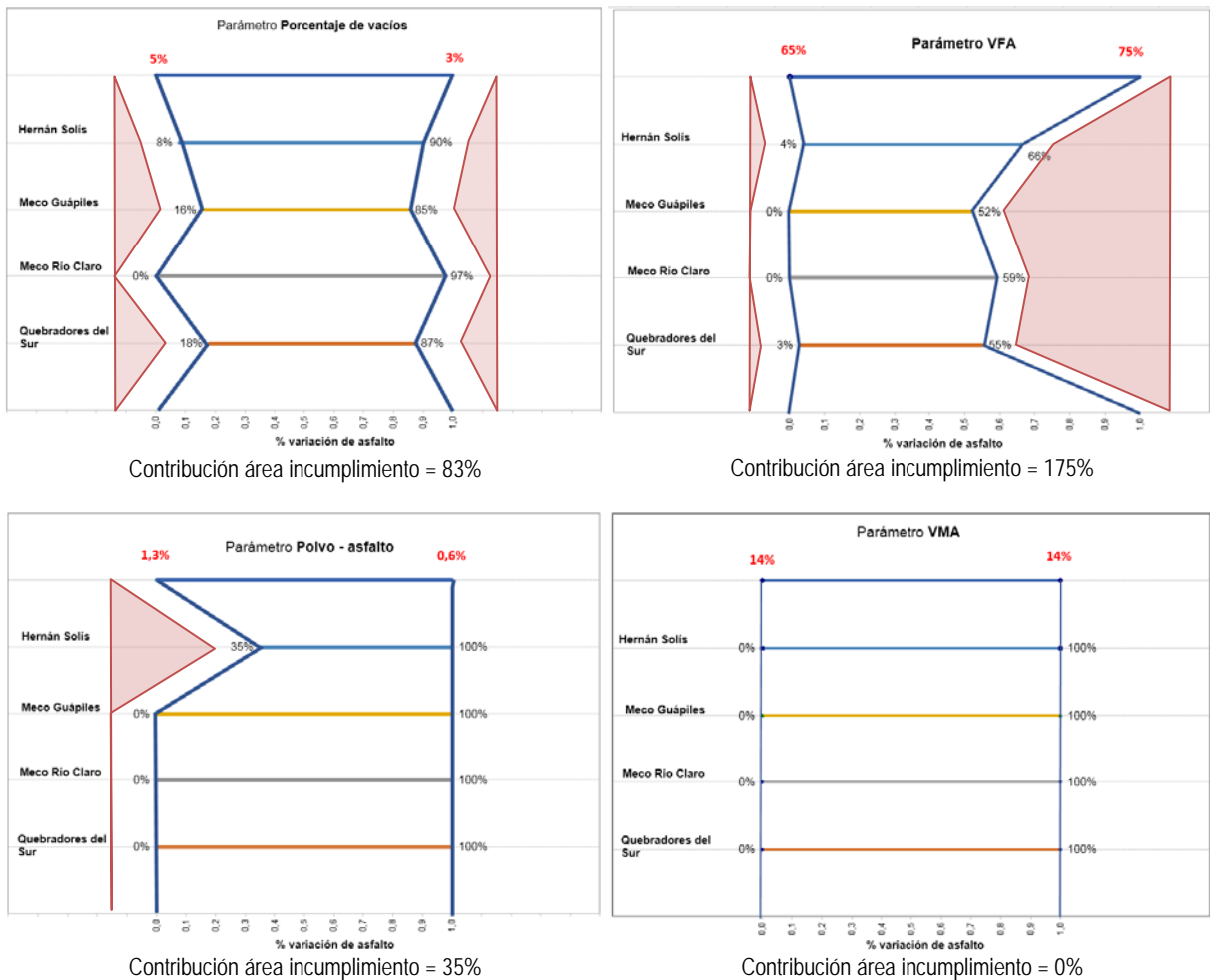


Figura 36. Análisis gráfico del rango efectivo de contenido de asfalto para mezcla de 19 mm.



12. CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados de ensayo obtenidos por el LanammeUCR para las mezclas asfálticas manufacturadas en las diversas plantas asfálticas que se produjeron para los contratos de conservación vial en 2018, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

Granulometría de la mezcla

- a. Las granulometrías de ambos tipos de mezcla asfáltica (convencional y modificada) cumplen en su mayoría los requisitos granulométricos establecidos para ambos tamaños de agregados (12 mm y 19 mm), sin embargo se denotan ciertas tendencias:
- La fracción gruesa ($1/2"$ y $3/8"$) presentan un comportamiento variable entre la porción fina y la gruesa, con mayor inclinación hacia esta última. Obteniéndose mayor variabilidad en el material de $3/4"$.
 - Los materiales retenidos en las mallas de $1/2"$, $3/8"$, N°4 y N°8 se mantienen entre la porción fina y la gruesa, existiendo para la malla N°4 de la mezcla de 12 mm a ubicarse en la porción gruesa de la especificación durante todo el año 2018 .
 - En cuanto a la parte de la fracción fina de la curva granulométrica es evidente que a partir de la malla N°16 hasta la malla N°200 existe una marcada tendencia a ubicarse en el ámbito fino de la especificación entre el valor meta y el límite superior. Se observa que la mayor variación, con el valor meta, se obtiene en la malla 200 con una magnitud de entre 1,6% a 1,96%.

Contenido de asfalto

- b. Con relación al contenido de asfalto, las muestras analizadas presentan resultados variables para las mezclas de 12mm convencional y modificada. En tanto para las mezclas de 19mm se precisan algunos incumplimientos, tanto en la convencional como en la modificada ya que se tienen valores fuera del óptimo $\pm 0,5\%$ establecido en el diseño de mezcla vigente.

Parámetros de calidad de la mezcla

- c. Se determinan incumplimientos en los parámetros volumétricos utilizados como control de calidad de las mezclas asfálticas convencional y modificada, para ambos tamaños de agregado (12 mm y 19 mm).
- entre 45%-98% para el contenido de vacíos (con algunos valores cercanos al 6,6% en ambos tamaños de agregados),

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 63 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



- o desde cumplimiento total (convencional de 12mm y modificada de 19mm) hasta 30% de incumplimiento para vacíos en el agregado mineral (VMA),
 - o entre 47% a 81% para vacíos llenos de asfalto (VFA), siendo los porcentajes más bajos para la mezcla de tamaño 19mm
 - o en la relación polvo/asfalto se obtiene un incumplimiento del 25% a 35% para mezcla de 19 y valores de 87% a 90% de incumplimiento en mezcla de 12mm.
- d. En términos generales se determina una tendencia a producir con porcentajes de malla 200 (polvo) cercanos al límite superior de la especificación, influyendo en el cumplimiento de la relación polvo asfalto y en el comportamiento de las mezclas asfálticas.

Deformación permanente

- e. En la totalidad de las muestras de mezcla convencional y modificada con polímeros producida con agregados de TM.12,5 mm y de TM.19 mm se obtienen valores muy competentes con relación a la referencia utilizada para el ensayo de deformación permanente (APA y Rueda de Hamburgo). En comparación con criterios internacionales todos los valores reflejan mezclas asfálticas con un buen comportamiento a la deformación permanente.
- f. Se denota una mejora en la capacidad de resistir deformación permanente al incluir polímeros para modificar el ligante asfáltico usado para producir la mezcla asfáltica.

Fatiga de la mezcla asfáltica

- g. Se logra determinar que el 33% de la mezcla de 19mm fabricada con asfalto modificado cumple con los criterios de alto desempeño, tipo D y tan solo el 13% de la mezcla con asfalto convencional. Para las mezclas de 12,5mm se tiene que ninguna de las muestras de mezcla convencional se acerca al criterio de alto desempeño y que tan solo el 17% de la mezcla modificada con polímero satisface dicho criterio de comparación.
- h. Se observa que algunas mezclas convencionales de 19mm, muestran una propensión que ante un aumento en la cantidad de asfalto, el producto final podría cumplir con el criterio de alto desempeño, tipo D.

Flow Number de la mezcla asfáltica

- i. La mezcla asfáltica modificada con polímeros, para ambos tamaños de agregado (12mm y 19mm), demuestra tener una mayor capacidad de soporte al agrietamiento a la fatiga, entre 25 a 30 veces la especificación empleada. En tanto la mezcla asfáltica convencional, solamente 1 de las 4 muestras evaluadas (12mm y 19mm) satisfacen el

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 64 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



criterio de capacidad de soporte a la deformación permanente estipulado para el ensayo de Flow Number.

Diseños de mezcla

- j. Los diseños de mezcla asfáltica, tanto de 12 mm, como de 19 mm siguen evidenciando restricciones en el ámbito efectivo de contenido de asfalto disponible, reduciendo el rango de trabajo establecido por el contenido óptimo $\pm 0,5\%$ desde un 28% hasta un 72%.
- k. El parámetro que mayor restricción al rango de trabajo provoca es el parámetro de vacíos llenos con asfalto (VFA) el cual reduce hasta en un 50% dicho rango. El siguiente parámetro que produce restricciones al rango de trabajo (óptimo $\pm 0,5\%$) es el contenido de vacíos Marshall, el cual provoca reducciones desde un 5% hasta un 34%.
- l. La variabilidad existente en el parámetro de VFA, provoca que pequeños incrementos en el contenido óptimo de asfalto definido en algunos de los diseños, llegue a valores cercanos al 80% valor en el cual la mezcla asfáltica se vuelve inestable, propensa a desplazamientos.

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 65 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



13. RECOMENDACIONES

A continuación, se listan algunas recomendaciones para que sean consideradas por la Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, con el propósito de que se definan e implementen soluciones integrales en los proyectos que ejecuta esta dirección.

- a. De acuerdo con lo establecido en el cartel de licitación, todos los parámetros volumétricos deben ser valorados como parte de la aceptación de la mezcla asfáltica producida, situación que de acuerdo con los resultados presentados es absolutamente recomendable. Especificaciones técnicas internacionales sugieren que los parámetros de aceptación de la mezcla asfáltica sean valorados estadísticamente y se determine el porcentaje de los resultados que se encuentran fuera de los límites de especificación para cada uno de ellos, sin que esto conlleve necesariamente a una determinación de un pago reducido por calidad por calidad, contribuyendo a un control de procesos.
- b. A partir de análisis estadísticos se puede determinar el porcentaje tolerable de incumplimiento para cada uno de estos parámetros, considerándose como aceptable, a nivel internacional, el correspondiente a una variabilidad de un 10% (máximo tolerable internacionalmente para un lote de tamaño de 30 muestras, sin incurrir en ajustes económicos por calidad).
- c. Valorar ampliar el análisis de cumplimiento de parámetros en el rango óptimo de asfalto en la etapa de diseño, de manera que se especifique claramente el riesgo existente de incumplimiento de cada uno de los parámetros analizados para minimizar el riesgo de altos valores que sobrepasen los límites permitidos a la hora de la producción, tal como se evidencia en este informe.
- d. Valorar incorporar en las especificaciones un porcentaje de asfalto mínimo que garantice mezclas asfálticas con mayor resistencia a la fatiga en las carpetas asfálticas de las carreteras que se construyen en Costa Rica.
- e. Solicitar la aplicación de metodologías de diseño de mezclas asfálticas y de los materiales (metodología de diseño balanceado de mezcla -balance mix design-) que las componen, de manera que se considere todas las condiciones a las que se verán expuestas (cargas de tránsito, clima de la zona, materiales) para obtener un comportamiento adecuado durante el periodo de operación de diseño.

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 66 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



14. REFERENCIAS

- Aguiar Moya, J. P., & Allen Monge, J. (2004). *Comparación de resistencia al agua y a la deformación permanente en mezclas asfálticas densas y SMA*. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica: LanammeUCR.
- Arias Barrantes, E. (2014). *LM-PI-GM-INF-22-14 "Recomendaciones técnicas para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la incorporación de criterios mecánico empíricos"*. San Pedro de Montes de Oca, San José: LanammeUCR.
- Cervantes Calvo, V. H., & Fonseca Chaves, F. (2017). *LM-PI-AT-154-17 "Evaluación de la mezcla asfáltica producida en diferentes centros de producción para los proyectos viales"*. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.
- CONAVI. (2014). Cartel de Licitación Pública No. 2014LN-000018-0CV00 MP Y R: Mantenimiento periódico y rehabilitación del pavimento de la red vial nacional pavimentada. San José.
- Costa, I. M. (2009). *Instituto Meteorológico de Costa "Atlas Climatológico"*. San José, Costa Rica.
- Epps, J., Fee, F., Foo, K., & all, a. e. (2011). *NCHRP Report 673 "A manual for desing of hot mix Asphalt"*. Washington D.C, USA: Transportarion Research Board.
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., & all, e. (2005). *Análisis de varianza del efecto de algunos factores que influyen en la deformación permanente de mezclas asfálticas*. Sanfandila, Querétaro.
- Guerrero Aguilera, S., & Herra Gómez, L. D. (2017). *LM-AT-121-17 "Evaluación de parámetros y metodología utilizada en los diseños de pavimentos"*. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica: LanammeUCR.
- Huamán Guerrero, N. (2011). *La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Leiva Villacorta, F. (2004). *Estudio del Módulo Dinámico complejo de mezclas asfálticas. Desarrollo de curvas maestras*. San Pedro de Montes de Oca, San José: LanammeUCR.
- Mateos Moreno, A., & Soares, J. (2015). El módulo dinámico de la mezcla bituminosa: importancia, evaluación y estimación. *Asfalto y Pavimentación*, 64.
- MOPT. (2010). *Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Carreteras y Puentes*. San José.

Informe LM-PI-AT-033-19	mayo , 2019	Página 67 de 68
-------------------------	-------------	-----------------



EQUIPO AUDITOR

Preparado por:
Ing. Victor Cervantes Calvo.
Auditor Técnico

Preparado por:
Ing. Francisco Fonseca Chaves.
Auditor Técnico

Aprobado por:
Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.
Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica

Aprobado por:
Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D.
Coordinador General PITRA

Visto Bueno de Legalidad:
Lic. Miguel Chacón Alvarado
Asesor Legal Externo LanammeUCR